

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Escuela Universitaria de Enfermería, Fisioterapia y Podología



TESIS DOCTORAL

Análisis clínico, baropodométrico y neuromadurativo de los niños con marcha de puntillas idiopática en edad preescolar

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Patricia Martín Casas

Directores

M^a Ángeles Atín Arratibel
Juan Vicente Beneit Montesinos

Madrid, 2012

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Escuela Universitaria de Enfermería, Fisioterapia y Podología



ANÁLISIS CLÍNICO,
BAROPODOMÉTRICO Y
NEUROMADURATIVO DE LOS NIÑOS
CON MARCHA DE PUNTILLAS
IDIOPÁTICA EN EDAD PREESCOLAR

TESIS DOCTORAL

Patricia Martín Casas

Directores:

Dra. M^a Ángeles Atín Arratibel
Dr. Juan Vicente Beneit Montesinos

*“En Ciencia, como en la vida,
todo viene después del amor”*

Dr. Ramón y Cajal

A mis padres, a quien todo debo

A Alfonso

AGRADECIMIENTOS

Durante las diferentes etapas de elaboración de esta Tesis doctoral he recibido la ayuda de muchas personas que con su apoyo, su trabajo y su ánimo han propiciado que este proyecto haya podido realizarse, por lo que me gustaría dedicarles unas líneas de agradecimiento.

En primer lugar, a mis directores: la Doctora M^a Ángeles Atín ha sido mi mejor ejemplo desde mi etapa de estudiante, como profesional y como persona, y de su mano he aprendido gran parte de lo que sé y que se refleja en este trabajo, sin cuya guía no hubiese podido realizar; el Doctor Juan Vicente Beneit ha sido mi mentor desde mi graduación, cuando me abrió las puertas de esta Escuela y me brindó su apoyo, fundamental en estos años y sin el cual esta Tesis no hubiese sido posible.

Mi agradecimiento al Subdirector de la Clínica Universitaria de Podología, el Doctor José Luis Lázaro, y a todo el personal, clínico y administrativo, que ha facilitado siempre mi trabajo. Mi gratitud para el Profesor Ángel Orejana, que nos ha brindado sus conocimientos y ayuda desde los comienzos de este proyecto y también su calidez humana. A los residentes, con los que he compartido aprendizajes y momentos de complicidad. A María, Yessica, Rebeca y Verónica, por sus valiosas aportaciones en los momentos justos. A Angie, Laura, Pedro, Elena y Diana por su compañerismo y comprensión.

A mi compañera infatigable, Ruth Ballestero, sin cuya energía, tenacidad y apoyo este trabajo hubiese sido inviable. Gracias por tu entrega, tu generosidad y tu sonrisa.

He de agradecer el apoyo mostrado por el Doctor Antonio Álvarez y mis compañeros del Departamento de Medicina Física y Rehabilitación. Hidrología Médica, especialmente a las Doctoras Raquel Valero y Susana Muñoz y al Doctor Enrique Varela. También a M^a Luz Marina, por su ayuda diaria y por su paciencia.

Mi gratitud por el apoyo y cariño recibidos por el personal de la E.U. de Enfermería, Fisioterapia y Podología durante la realización de esta Tesis. De manera especial quiero expresar mi gratitud al Doctor Enrique Pacheco por su apoyo y comprensión, al Doctor José Luis Pacheco por su disponibilidad y su generosa ayuda desde la génesis de este trabajo hasta las últimas correcciones, a los Doctores Jorge Diz, José M^a Blanco y Ana Vos y las Profesoras Esther García y Ana Belén Rivas por su cariño y sus buenos consejos. También al Doctor David Carabantes por su ayuda y por las gestiones realizadas para la presentación de esta Tesis.

A la Doctora Leticia García, por su apoyo constante y por contagiarme de su gran entusiasmo. A la Doctora Mercedes Gómez, por su interés y su cariño.

Mi agradecimiento para los Doctores Rossi y Bonfiglio, de la Unità di Neuroriabilitazione Universitaria del Ospedale di Santa Chiara, en Pisa, donde he comprendido el neurodesarrollo infantil y he aprendido con las magníficas Rita, Elena, Anna Maria y Donata. A todas ellas, junto con Mauricio y Alexandra y todos los niños en cuyas valoraciones y tratamientos participé, debo mi trabajo diario y gran parte de esta Tesis. Gracias a Manuela por abrirme su casa y ofrecerme su cariño.

Agradezco a Roberta Ghedina su orientación y sus enseñanzas sobre el Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo, además de sus revisiones de los textos en italiano.

Al Doctor José Antonio Portellano, que amablemente nos proporcionó su apoyo y sus recomendaciones para poder implementar el presente trabajo con el test CUMANIN.

Gracias a la colaboración de Rosa I. de la Puerta y al Servicio de Acción Social de la Universidad Complutense de Madrid por la divulgación de nuestro trabajo.

Agradezco al personal de nuestra Biblioteca, especialmente a su directora, Fuencisla Sanz, y a M^a Carmen Álvarez el proporcionarme amablemente la bibliografía necesaria.

Sin el apoyo prestado por Santiago Cano, el procesamiento de los datos y su análisis no hubiese sido posible. Gracias por tu inestimable ayuda y dedicación.

Esta Tesis resulta mi particular homenaje a Nico, Álvaro, Sara, Juan, Marcos, Carlos y tantos otros niños que han venido siempre con alegría, de los cuales he aprendido tantas cosas que serían imposibles de enumerar. Gracias a sus padres, porque sin su colaboración este proyecto no hubiese sido viable.

A mis amigos, por ceder generosamente nuestro tiempo juntos. Especialmente a Sara, Paco, Elena, Ana, Cristina y África, por su amistad y su empuje en los momentos difíciles. A Elena, Carlos, David, Ani y Marta, por compartir indispensables momentos de diversión.

A Félix y M^a Carmen, por su comprensión y apoyo.

Sin la ayuda diaria de mis padres este trabajo no hubiera podido ni siquiera comenzar. Gracias por vuestra confianza, generosidad y entrega a lo largo de mi vida y, especialmente, en los últimos años. Agradezco también a Isaac y a mi hermana Ana su ánimo y su alegría, que han hecho más ligero el camino. A mi abuela Florencia, por sus desvelos.

Y sin Alfonso a mi lado, a cada paso, todo hubiese sido más difícil. Gracias por tu infinita paciencia, por tu comprensión y por tu amor.

RESUMEN

Los andadores de puntillas (AP) caminan habitualmente sin apoyar el talón, con un patrón preferente de contacto inicial con la punta del pie o con toda la planta, pero son capaces de apoyar el talón en bipedestación y de realizar una marcha con choque inicial del talón cuando se les pide o se concentran. La marcha de puntillas idiopática se considera un diagnóstico de exclusión de patologías neurológicas y ortopédicas cuando persiste en niños de más de 3 años que comenzaron a caminar con este patrón de forma simétrica, pero las características propias que muestran estos niños han propiciado que se haya propuesto definirla como síndrome que expresa un retardo de la adquisición y la maduración neuromotriz, que se perpetúa con una retracción secundaria del tríceps sural. Se especula también con la posibilidad de que sea una expresión motora de una disfunción cerebral mínima, pues algunos estudios la han relacionado con diversas alteraciones del desarrollo. Además, los AP frecuentemente presentan alteraciones ortopédicas, dolor y un equilibrio precario que podrían afectar a su desarrollo global.

Junto con la necesaria valoración ortopédica y del desarrollo, el análisis instrumental facilita la evaluación de la marcha de los AP y ha sido ampliamente utilizado para valorar sus características cinéticas, cinemáticas y electromiográficas. No obstante, la baropodometría no ha sido apenas empleada en estos niños, a pesar de que su capacidad para reflejar las desviaciones mínimas de la normalidad podría facilitar la caracterización del patrón, la prevención de deformaciones y alteraciones funcionales y la evaluación de la efectividad de los distintos tratamientos disponibles en la actualidad. El objetivo general de este trabajo es evaluar las características clínicas, baropodométricas y neuromadurativas diferenciales de los AP con respecto los niños sin alteraciones de entre 3 y 6 años.

Para ello, se ha realizado un estudio descriptivo transversal en el que se compararon un grupo de 56 AP y un grupo de 40 niños sin alteraciones del pie, la marcha o el desarrollo (grupo control), que acudieron a la Unidad de Fisioterapia de la Clínica Universitaria de Podología de la UCM. Se recogieron variables relativas a la entrevista clínica con los padres, a la estática y la movilidad de los miembros inferiores, a la valoración neuromadurativa y al análisis baropodométrico de la marcha.

En los AP se encontró un mayor porcentaje de varones, de historia familiar positiva y de presencia de factores de riesgo biológico durante el período perinatal que en el grupo control, así

como una mayor frecuencia de torpeza motriz. En la valoración clínica los AP mostraron una menor flexión dorsal del tobillo con la rodilla flexionada y una mayor pronación del pie junto con una disminución del apoyo de talón en bipedestación. La evaluación neuromadurativa reveló resultados inferiores de los AP en las escalas de Psicomotricidad y de Memoria y en el Desarrollo Verbal, el Desarrollo No Verbal y el Desarrollo Total, además de una menor definición de la lateralidad podálica. El análisis baropodométrico de la marcha desveló un patrón de desarrollo del paso con características específicas en los AP, en cuanto a la distribución de presiones e impulsos y a los parámetros temporales. Los diversos modelos de contacto inicial del pie de los AP revelaron tres patrones diferenciados de paso, relacionados con características clínicas y neuromadurativas específicas, que podrían sugerir niveles progresivos de severidad y una indicación terapéutica precisa para cada uno de los tres grupos de AP descritos, cuya efectividad deberá ser evaluada en futuros trabajos.

Los resultados muestran las características diferenciales de los AP de la muestra estudiada con respecto al grupo control, que apoyan la definición de la marcha de puntillas idiopática como síndrome del desarrollo con expresión motora. Asimismo, revelan la necesidad de una evaluación que considere los aspectos neuromadurativos junto a los ortopédicos y la utilidad de la baropodometría en la valoración de estos niños.

PALABRAS CLAVE: marcha de puntillas idiopática, niños, valoración, baropodometría.

RIASSUNTO

ANALISI CLINICA, BAROPODOMETRICA E NEUROMATURATIVA DEL CAMMINO IDIOPATICO SULLE PUNTE DEI PIEDI IN ETÀ PRESCOLARE.

I camminatori sulle punte (AP) camminano abitualmente senza appoggiare il tallone, con un pattern preferito di contatto iniziale con la punta o tutto il piede, ma sono in grado di appoggiare i talloni in bipedestazione e di camminare con l'appoggio iniziale del tallone quando ha quiesto o sono concentrati. Il cammino idiopatico sulle punte dei piedi si considera una diagnosi per esclusione nelle patologie neurologiche e ortopediche quando persiste nei bambini di più di 3 anni che hanno cominciato a camminare con questo pattern simmetrico, ma le caratteristiche proprie che mostrano questi bambini hanno fatto in modo che si debba definire come sindrome che esprime un ritardo dell'aquisizione e della maturazione neuromotrice che si perpetua con una retrazione secondaria del tricipite surale. Si ipotizza che questa sia un'espressione motoria di una disfunzione cerebrale minima dato che alcuni studi la hanno relazionata con diverse alterazioni dello sviluppo. Inoltre, i AP presentano frequentemente alterazioni ortopediche, dolore e un equilibrio precario che potrebbero alterarne lo sviluppo globale.

Oltre alla necessaria valutazione ortopedica e dello sviluppo, l'analisi strumentale facilita la valutazione della deambulazione dei bambini con cammino sulle punte dei piedi ed è stato ampiamente utilizzato per valorare le loro caratteristiche cinetiche, cinematiche e elettromiografiche. Nonostante ciò, la baropodometria è stata utilizzata appena in questi bambini, anche se la sua capacità per riflettere le minime deviazioni dalla normalità potrebbe facilitarne la caratterizzazione del pattern, la prevenzione delle deformità e delle alterazioni funzionali e la valutazione dell'efficacia dei distinti trattamenti disponibili al giorno d'oggi.

Il presente lavoro ha come obiettivo la valutazione delle caratteristiche cliniche, baropodometriche e neuromaturative differenziale degli AP rispetto ai bambini senza alterazioni, di età comprese fra i 3 e i 6 anni.

Per questo è stato realizzato uno studio descrittivo trasversale, nel quale si comparano un gruppo di 56 AP e un gruppo di bambini senza alterazioni del piede, della deambulazione o dello sviluppo (gruppo controllo), giunti all'Unità di Fisioterapia della Clinica Universitaria di Podologia dell'UCM. Sono state raccolte variabili relative all'intervista clinica con i genitori, alla

statica e alla mobilità degli arti inferiori, alla valutazione neuromaturativa ed all'analisi baropodometrica della deambulazione.

Fra i AP si è riscontrata una maggiore percentuale di maschi, di familiarità positiva e di presenza di fattori di rischio biologico durante il periodo perinatale rispetto al gruppo controllo, oltre ad una maggiore frequenza di goffaggine. Nell'analisi clinica i AP hanno mostrato una minore dorsiflessione della caviglia con il ginocchio in flessione, una maggiore pronazione del piede e una diminuzione dell'appoggio del tallone in bipedestazione. La valutazione neuromaturativa ha rivelato risultati inferiori dei bambini che camminano sulle punte nelle scale di Psicomotricità e di Memoria, e nello Sviluppo Verbale, Sviluppo Non Verbale e Sviluppo Totale, oltre ad una minore definizione della lateralità podale. L'analisi baropodometrica della deambulazione ha svelato un pattern con caratteristiche specifiche nei AP, nei suoi parametri temporali, di pressione, di contatto e d'impulso. I vari modelli di contatto iniziale del piede di AP ha rivelato tre pattern distinti di passo, correlati con caratteristiche cliniche e neuromaturative specifiche, che potrebbero suggerire livelli progressive di gravità e un'indicazione terapeutica precisa per ciascuno dei tre gruppi descritti di AP, la cui efficacia dovrebbe essere valutata in studi futuri.

I risultati mostrano le caratteristiche differenziale dei bambini con cammino idiopatico sulle punte rispetto al gruppo controllo, che appoggiano la sua definizione come sindrome dello sviluppo con espressione motrice. Rivelano anche la necessità della valutazione degli aspetti neuromaturativi come pure degli caratteristiche ortopediche, e l'utilità della baropodometria nella valutazione di questi bambini.

PAROLE CHIAVE: cammino idiopatico sulle punte, bambini, valutazione, baropodometria.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ALI	Arco longitudinal interno
AP	Andadores de puntillas
CCI	Coefficiente de correlación intraclase
CG	Centro de gravedad del cuerpo
CP	Centro de presiones del pie, proyección del CG en la superficie plantar
CUMANIN	Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Infantil
D	Derecho
DCM	Disfunción cerebral mínima
DE	Desviación estándar
FD	Flexión dorsal
FR	Factores de riesgo
I	Izquierdo
IMC	Índice de masa corporal
MI	Miembro inferior
MMII	Miembros inferiores
PCI	Parálisis cerebral infantil
PRCC	Posición relajada de calcáneo en carga
SNC	Sistema Nervioso Central
TDP	Tercio distal de la pierna
VM	Ventilación mecánica

ÍNDICE

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	21
2. EVOLUCIÓN DEL PIE Y LA MARCHA EN EL NIÑO Y SU RELACIÓN CON EL DESARROLLO NEUROMADURATIVO.....	24
2.1. DESARROLLO DEL TOBILLO Y EL PIE EN RELACIÓN CON SU ACTIVIDAD DURANTE LA MARCHA.....	24
2.1.1. Morfología	
2.1.2. Movilidad articular	
2.1.3. Actividad durante la marcha	
2.1.4. Análisis baropodométrico	
2.2. EL PATRÓN DE MARCHA INFANTIL.....	30
2.2.1. Evolución del patrón de marcha en el niño	
2.2.2. El equilibrio como indicador de eficiencia energética y madurez	
2.3. MARCHA Y DESARROLLO NEUROMADURATIVO.....	34
2.3.1. La transición desde patrones innatos hasta el movimiento voluntario	
2.3.2. Control central de la locomoción	
2.3.3. Integración entre la acción, la percepción y la cognición	
3. VALORACIÓN DEL PIE, LA MARCHA Y EL DESARROLLO.....	41
3.1. FACTORES IMPLICADOS EN EL DESARROLLO INFANTIL.....	41
3.1.1. Factores de riesgo biológico y ambiental	
3.1.2. Factores mecánicos	
3.2. VALORACIÓN DE LA MORFOLOGÍA Y LA MOVILIDAD DE LOS MIEMBROS INFERIORES.....	44
3.2.1. Mediciones clínicas de los miembros inferiores	
3.2.2. Análisis visual de la huella plantar	
3.3. EL ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE LA MARCHA.....	49
3.3.1. Métodos de análisis instrumental	
3.3.2. Las plataformas dinamométricas	
3.3.3. Las técnicas de registro de las presiones plantares	
3.3.4. El sistema Footscan®	
3.4. VALORACIÓN DEL DESARROLLO NEUROMADURATIVO.....	53
3.4.1. La neuropsicología infantil y la disfunción cerebral mínima	
3.4.2. Pruebas de valoración del desarrollo neuromadurativo	
3.4.3. El Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Infantil (CUMANIN)	

4. LA MARCHA DE PUNTILLAS IDIOPÁTICA.....	61
4.1. DEFINICIÓN, PREVALENCIA Y ETIOPATOGENIA.....	61
4.1.1. Prevalencia	
4.1.2. Etiopatogenia	
4.2. CARACTERÍSTICAS BIOMECÁNICAS Y NEUROMADURATIVAS.....	64
4.2.1. Análisis ortopédico	
4.2.2. Características cinéticas y cinemáticas	
4.2.3. Actividad muscular	
4.2.4. Desarrollo neuromadurativo	
4.3. TRATAMIENTOS Y EFECTIVIDAD.....	71
4.3.1. Férulas combinadas con ejercicios	
4.3.2. Alargamiento quirúrgico	
4.3.3. Otros tratamientos	
4.3.4. Fisioterapia	
4.3.5. El aprendizaje como tratamiento	
5. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	77
5.1. HIPÓTESIS.....	79
5.2. OBJETIVOS.....	79
6. MATERIAL Y MÉTODO.....	81
6.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO.....	83
6.1.1. Tipo de investigación	
6.1.2. Población diana y proceso de reclutamiento	
6.1.3. Criterios de inclusión y exclusión	
6.1.4. Selección de la muestra	
6.1.5. Realización de las valoraciones	
6.2. VARIABLES ANALIZADAS Y PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE LAS MISMAS	86
6.2.1. Variables independientes	
6.2.2. Variables dependientes	
6.3. RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS.....	97
7. RESULTADOS.....	99
7.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y ENTREVISTA A LOS PADRES.....	101
7.2. VALORACIÓN CLÍNICA DE LOS MIEMBROS INFERIORES.....	110

7.3.	CARACTERÍSTICAS NEUROMADURATIVAS.....	114
7.4.	ANÁLISIS BAROPODOMÉTRICO DE LA MARCHA.....	116
7.5.	CLASIFICACIÓN BAROPODOMÉTRICA DE LOS ANDADORES DE PUNTILLAS.....	131
7.6.	ÁRBOLES DE DECISIÓN.....	147
8.	DISCUSIÓN.....	157
8.1.	DEFINICIÓN DE LA MARCHA DE PUNTILLAS IDIOPÁTICA Y DISCUSIÓN DEL PROTOCOLO.....	159
8.1.1.	La marcha de puntillas idiopática como patrón preferente. Implicación de la flexión dorsal del tobillo	
8.1.2.	Discusión del protocolo	
8.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y ENTREVISTA A LOS PADRES.....	163
8.3.	VALORACIÓN CLÍNICA DE LOS MIEMBROS INFERIORES.....	166
8.4.	CARACTERÍSTICAS NEUROMADURATIVAS.....	168
8.5.	ANÁLISIS BAROPODOMÉTRICO DE LA MARCHA.....	170
8.6.	CLASIFICACIÓN BAROPODOMÉTRICA DE LOS ANDADORES DE PUNTILLAS.....	175
8.7.	ÁRBOLES DE DECISIÓN.....	182
9.	CONCLUSIONES.....	185
9.1.	CONCLUSIONI.....	188
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	189
11.	ANEXOS.....	203
	ANEXO 1: FACTORES DE RIESGO BIOLÓGICO Y SOCIAL.....	205
	ANEXO 2: AUTORIZACIÓN DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA.....	206
	ANEXO 3: DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO.....	207

ANEXO 4: MODELO GENÉRICO DE INFORME.....	210
ANEXO 5: DATOS DE LA ENTREVISTA INICIAL.....	212
ANEXO 6: HOJA DE RECOGIDA DE DATOS PARA LAS VARIABLES DESCRIPTIVAS Y CLÍNICAS.....	213
ANEXO 7: PERFIL DEL CUMANIN.....	214

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La marcha es una actividad altamente compleja debido a la dificultad para mantener el equilibrio que implica, que requiere la detección de la posición y el movimiento de los diferentes segmentos corporales y su integración con una referencia estable en la cual se basa el control motor [1]. En el caso de los niños, los sistemas motor y perceptivo se desarrollan de forma interdependiente, a través de la exploración [2, 3], por lo que la alteración de cualquiera de ellos y la consecuente deficitaria formación del esquema corporal podrían resultar factores limitantes para el desarrollo de un patrón de marcha correcto y adaptable a las condiciones propias y externas [4-6]. La influencia de los procesos sensoriomotores y de integración en la organización y ejecución de la marcha podría verse reflejada en la marcha de puntillas idiopática, objeto de estudio de este trabajo [7, 8].

Aunque se ha demostrado la interacción entre los factores biomecánicos y los neurofisiológicos, el estudio de la marcha frecuentemente se ha polarizado para favorecer su comprensión y estudio [9]. Desde el punto de vista biomecánico, el análisis cinético, cinemático, de activación muscular y del movimiento del centro de gravedad corporal (CG), han sido ampliamente utilizados para evaluar la marcha en niños [10]. La baropodometría se ha incorporado recientemente a la valoración del pie y la marcha, a partir de la consideración del pie como con un captor de posición al que se adaptan las estructuras suprayacentes y del interés por conocer la distribución de las presiones en la superficie plantar [11, 12].

La descripción de los aspectos biomecánicos de la marcha infantil en los niños sin alteraciones y su consideración como comportamiento, expresión de la funcionalidad del Sistema Nervioso Central (SNC), puede facilitar el estudio de las diversas características diferenciales de los andadores de puntillas (AP). No se ha encontrado ningún trabajo que utilice la baropodometría en estos niños, aunque las técnicas electromiográficas, cinéticas y cinemáticas han permitido caracterizar su patrón de marcha [13-15]. Para el presente estudio, se ha considerado que su análisis junto con la valoración clínica de los miembros inferiores (MMII) y la realización de un test de desarrollo neuromadurativo, podría ofrecer algunos hallazgos que amplíen el conocimiento sobre los AP y confirmen la necesidad de un tratamiento integrador, que atienda tanto a las características músculo-esqueléticas como a las alteraciones del desarrollo que frecuentemente presentan [7, 16].

2. EVOLUCIÓN DEL PIE Y LA MARCHA EN EL NIÑO Y SU RELACIÓN CON EL DESARROLLO NEUROMADURATIVO

2.1. DESARROLLO DEL TOBILLO Y EL PIE EN RELACIÓN CON SU ACTIVIDAD DURANTE LA MARCHA

El desarrollo del aparato locomotor en el niño varía con el crecimiento y con la adquisición de las habilidades motrices, por lo que se observan cambios continuos en las características morfológicas y funcionales del mismo durante los primeros años de vida [17]. Durante el periodo neonatal los MMII están habitualmente en una posición semejante a la que presentaban en el claustro materno, con las caderas en flexión, abducción y rotación externa, las rodillas en flexión y varo, las piernas en varo y los pies en ligera supinación y flexión dorsal (FD) [18, 19]. Esta posición de la extremidad inferior va variando progresivamente en función de los procesos de desarrollo y actividad funcional del niño, pues a medida que el aparato locomotor es sometido a estímulos generados por la acción muscular y por las cargas axiales se modifica la arquitectura torsional y angular de los huesos, que adoptan la anatomía definitiva hacia los 7 años de edad. Además, esta relación es recíproca, puesto que el crecimiento del sistema musculoesquelético produce cambios en la forma de moverse y en el consiguiente consumo de energía [17, 20].

2.1.1. MORFOLOGÍA Y MOVILIDAD ARTICULAR

En el momento del nacimiento, la estructura del pie está basada predominantemente en tejido blando, pero durante los primeros años de vida se produce una rápida transformación del cartílago a hueso, especialmente cuando el pie experimenta cargas mecánicas desde el comienzo de la marcha independiente [20]. Tras el nacimiento, la forma más común del pie es con el calcáneo en valgo, la articulación subastragalina en varo y sin arco longitudinal interno (ALI) aparente, los cuales evolucionan progresivamente [19, 21]. Cuando el niño comienza a caminar, normalmente no existe aún el ALI y el pie parece plano por la almohadilla de tejido graso que existe bajo el mismo, que comienza su reabsorción después del inicio de la marcha independiente y la finaliza aproximadamente a los 5 años de edad, pero este aspecto no ha sido aún definido con exactitud [20, 22-24]. Algunos autores han demostrado que la altura del ALI se incrementa con la edad y entre los 2 y los 6 años se observa una rápida progresión de

su evolución, durante los cuales se produce la osificación y el desarrollo hacia una estructura madura del pie [21, 22]. Se considera que a los 6 años los principales cambios estructurales han sido completados y la apariencia del pie es similar a la del adulto, aunque la formación del ALI continúa hasta los 9-10 años [19, 20].

El antepié presenta al nacimiento una inversión de 10-15° en su eje longitudinal, que disminuye durante los primeros 5 años de vida hasta los 5°, el valor de normalidad en el adulto [19]. Los dedos deben estar alineados durante la edad infantil, de forma que cualquier desviación se considera patológica, aunque los dedos en garra o superpuestos a los adyacentes que aparecen en ocasiones en los lactantes se suelen corregir espontáneamente cuando el niño comienza a caminar y el pie recibe carga [20, 22].

Los cambios morfológicos del pie afectan a los rangos de movilidad de sus articulaciones. Al nacer la articulación tibio-peroneo-astragalina presenta una gran amplitud en FD, de hasta 75°, que se reduce rápidamente durante los primeros años de vida, de forma que a los 3 años el rango de FD considerado como normal es de 20°-25° y hacia los 10 años el niño presenta valores de 10-15° de FD del tobillo con la rodilla extendida, similares a los del adulto [18]. La pronación del pie durante la marcha también sufre una evolución importante durante los primeros años del desarrollo, pues con la experiencia de marcha la valguización del calcáneo se reduce progresivamente y la movilidad de la articulación subastragalina disminuye desde los 40-50° presentes en los niños más pequeños hasta los 20-30° en adolescentes y adultos [20, 25].

2.1.2. ACTIVIDAD DURANTE LA MARCHA

A pesar de que su rango de movilidad no es muy amplio, el papel del tobillo durante la marcha resulta fundamental en la progresión y la absorción del impacto en la fase de apoyo, además de que facilita el avance del miembro inferior (MI) durante la oscilación [26]. Durante un ciclo completo, el tobillo presenta una flexión plantar de hasta 7° y una dorsal de hasta 10° durante el apoyo (del 0 al 7% del ciclo y del 7 al 48%, respectivamente) y una flexión plantar de hasta 20° en el despegue (del 48 al 62% del ciclo), seguida de una FD hasta la posición neutra en la fase media de la oscilación y una nueva FD al final del balanceo para propiciar el choque de talón (Figura 1) [27, 28].

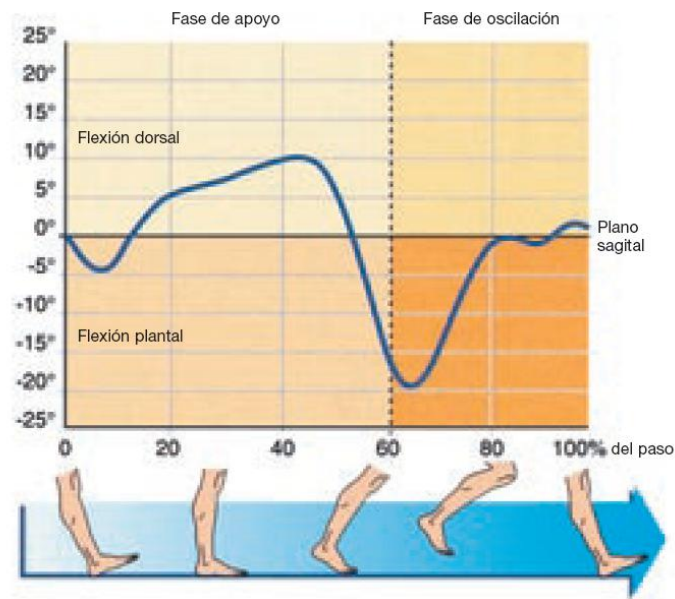


Figura 1: Amplitudes articulares del tobillo durante el ciclo de marcha. Fuente: Delarque y cols. [29].

La articulación subastragalina presenta un eje de rotación oblicuo que permite una inversión o eversión del pie. Tras el contacto inicial del talón, el pie comienza un movimiento de eversión cuyo máximo, de 4 a 6°, se produce en los primeros instantes de la fase media del apoyo, a partir de los cuales el movimiento se realiza hacia la inversión máxima, en el 52% del ciclo, para volver a la posición neutra durante la oscilación y realizar una nueva inversión durante el último 20% del ciclo. La articulación mediotarsiana experimenta un movimiento de aplanamiento, en la fase media del apoyo junto a una leve FD, y de recuperación del arco en el despegue del talón y en las fases media y terminal del balanceo, guiada por la supinación de la articulación subastragalina que bloquea la articulación mediotarsiana en una plantarflexión relativa que asegura la estabilidad intertarsal necesaria para soportar el peso corporal [26, 27].

Estos parámetros, que no están presentes en las primeras etapas de la marcha independiente, evolucionan progresivamente en los niños, con cambios importantes en los ángulos articulares hasta los 2,5 años y luego muy ligeros hasta los 4 años, cuando la marcha muestra ya cierta madurez. Este desarrollo progresivo se verifica en el choque de talón, que está claramente definido ya a los 2 años y a los 4 años muestra un patrón totalmente maduro, en relación con el movimiento posteroanterior del centro de presiones (CP) [26-28, 30, 31]. También el movimiento del CP, en todos sus componentes, parece definirse progresivamente con la experiencia de marcha hasta los 5 ó 6 años e, incluso, hasta los 9 años en su componente lateral, en relación con el desarrollo del equilibrio [31, 32]. En la generación de estos momentos de fuerzas y movimientos articulares intervienen tanto las estructuras

ligamentosas, fibrosas y fasciales, que mantienen la estabilidad del pie y configuran un sistema fundamental de amortiguación y transmisión de fuerzas, como las estructuras músculo-tendinosas, cuya actividad se describe a continuación [1, 26].

El patrón de activación temporal de los músculos del tobillo se corresponde con la secuencia de fases del ciclo de marcha, pues mientras que los flexores plantares se encuentran fundamentalmente activos durante el período de apoyo, los flexores dorsales lo hacen durante la oscilación, además de realizar una actividad excéntrica durante la respuesta a la carga (Figura 2). Entre los flexores plantares, el conjunto funcional formado por el sóleo y los gemelos efectúa el 93% del total de la fuerza. La acción del sóleo comienza al final de la fase inicial del apoyo, se mantiene durante el apoyo medio y experimenta un fuerte crecimiento en intensidad hasta el 40% del ciclo, tras el cual disminuye hasta cesar con el inicio de la fase de doble apoyo o preoscilación. Los gemelos comienzan a actuar poco después que el sóleo y presentan un patrón electromiográfico similar, aunque algo inferior en magnitud. Los músculos perimaleolares tienen un papel fundamental en el control de las articulaciones del pie, al igual que los músculos intrínsecos, y presentan también una actividad diferenciada durante cada una de las fases del ciclo de marcha [26, 27].

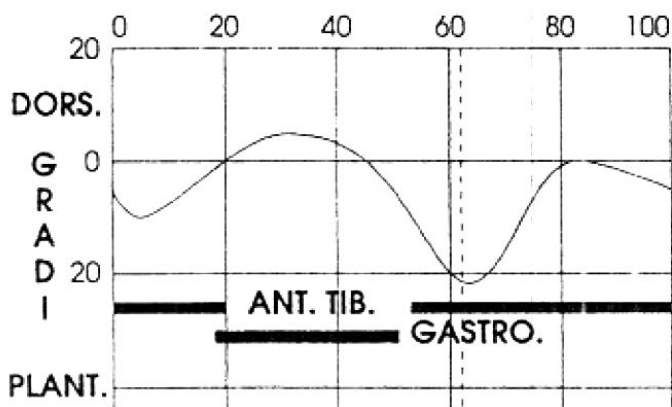


Figura 2: Actividad muscular de los músculos gastrocnemios y del tibial anterior durante el ciclo de marcha, en relación con la curva cinemática de dorsiflexión y plantarflexión del tobillo. Fuente: Dal Molin [6].

Respecto al progresivo desarrollo en niños de este patrón de activación muscular, que no ha sido apenas estudiado para los músculos perimaleolares e intrínsecos del pie [26], Sutherland y cols. encontraron que la actividad electromiográfica del tibial anterior y del grupo muscular gemelo-sóleo fue muy diferente en los niños de 1-1,5 años con respecto a los de 2-7 años. Los niños de 1 año mostraban una actividad prolongada del tibial anterior en la fase de apoyo y un retraso en el comienzo de su actividad durante el balanceo, mientras que

los niños de 2-7 años mostraban ya un patrón maduro. Además, en los niños de menor edad se observó la actividad del complejo gastrosóleo en la fase de balanceo hasta el contacto del pie contrario y, sin embargo, a partir de los 2 años su actividad estaba limitada a la fase de apoyo monopodal, al igual que en el adulto [31]. Se ha observado también en los niños más pequeños una prolongación de la actividad electromiográfica de los diversos músculos durante la marcha, que produce patrones múltiples y con excesiva actividad y se ha interpretado como un retraso en la maduración del sistema de control. Esta actividad muscular, que muestra ya patrones semejantes a los adultos a los 3 años de edad, da como resultado alguna falta de precisión en el movimiento que se perfecciona con la experiencia de marcha, aunque de forma más inconsistente que el incremento en la estabilidad mostrado en la coordinación articular y en los parámetros finales de posicionamiento del pie [31, 33-35].

2.1.3. ANÁLISIS BAROPODOMÉTRICO

La baropodometría permite valorar de forma detallada el comportamiento del pie durante el paso y cuantificar los parámetros espaciotemporales [26], facilitando la comprensión de los mecanismos mecánicos que influyen en la formación del pie del niño y su desarrollo [17]. El registro de las presiones plantares ha sido utilizado para describir el comportamiento dinámico del pie y su evolución durante la infancia desde que, en 1979, Hutton y Dhanendran estudiaron la distribución de la carga en el pie en un grupo de niños de 6 a 15 años y hallaron que la edad influye sobre la función del pie [36]. A continuación se exponen las aportaciones de algunos trabajos que han resultado de especial relevancia para el presente estudio.

Hallemans y cols. estudiaron la función del pie durante las primeras semanas de marcha independiente mediante el sistema Footscan® acoplado a una plataforma de fuerzas y obtuvieron varios tipos de patrones de contacto del pie: el contacto inicial con el antepié, con el pie plano y con el talón (Figura 3), junto con grandes oscilaciones del CP que relacionaron con los problemas de equilibrio [37]. Tras 5 meses de marcha independiente, estos mismos autores hallaron cambios significativos en los patrones de contacto del pie y en las oscilaciones del CP, pero no encontraron cambios en la distribución de las cargas bajo la superficie plantar, por lo que estimaron que la maduración del patrón de carga en el pie se desarrolla de forma más lenta que el rodillo “del talón a los dedos” [23]. Al final del primer año de marcha independiente y a través de la plataforma EMED®, Bertsch y cols.

encontraron un rodillo del talón a los dedos y un desplazamiento de las cargas del mediopié al antepié y al talón, que indicaban el desarrollo del ALI y mejoras en el control motor [38].

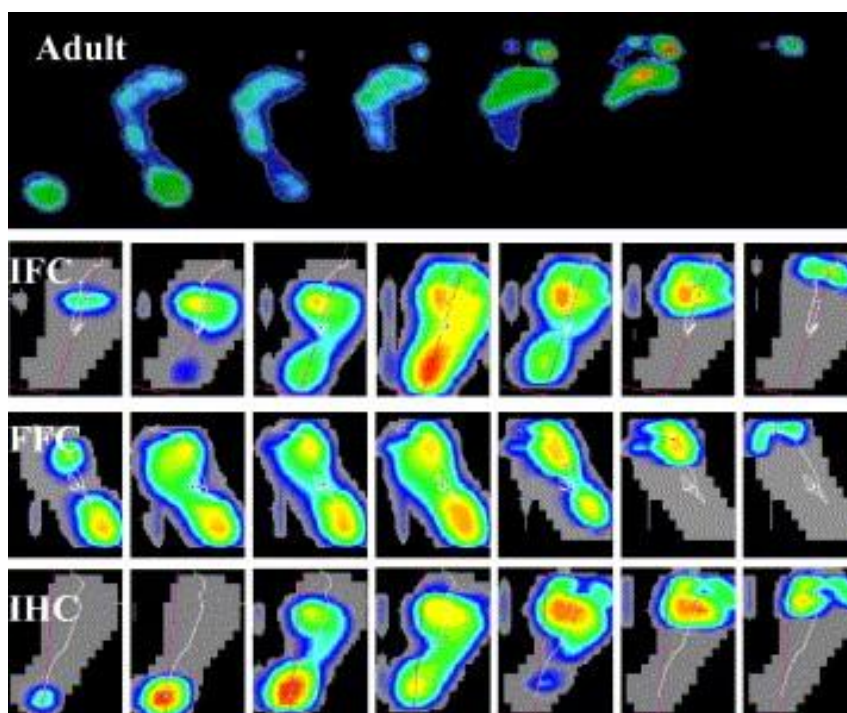


Figura 3: Patrones de presión plantar encontrados en niños que comenzaban a caminar, en comparación con el patrón en rodillo típico del adulto “del talón a los dedos”: contacto inicial con el antepié (IFC), con el pie plano (FFC) y con el talón (IHC). Fuente: Hallemans y cols. [23].

Con el objetivo de describir los perfiles baropodográficos de los niños de distintas edades, Alvarez y cols. estudiaron mediante los sistemas Tekscan HR Mat® y Research Foot Module® a 146 niños que dividieron en tres grupos: hasta los 2 años, de los 2 a los 5 años y a partir de esta edad. Entre ellos, encontraron diferencias en los patrones de inicio de la presión, la transmisión de fuerzas y el porcentaje de tiempo de apoyo de cada zona, las cuales proporcionaron evidencia de la maduración de los perfiles de presión plantar infantil desde un patrón de pie plano en los niños más pequeños hasta un patrón curvilíneo en los más mayores [39]. También Bosch y cols. analizaron mediante el sistema EMED® el desarrollo del pie y la marcha en estas edades y observaron un aumento significativo de la presión pico en todas las zonas excepto en el mediopié, en el que se observó una disminución de aproximadamente el 15% del impulso y el 9% del área de contacto por año, que relacionaron con la formación del ALI [40]. Posteriormente, continuaron el seguimiento de un grupo de estos niños para concluir que la evolución de los patrones de presión plantar sigue esta misma tendencia durante los 9 primeros años y que la asimetría disminuye con la edad [41, 42]. Además,

hallaron una influencia significativa del género en las presiones pico y los impulsos en algunas regiones así como en la morfología del pie, ya descrita por otros autores [40, 41, 43].

Hennig y Rosenbaum realizaron la comparación entre los parámetros baropodométricos del niño y los del adulto, con el sistema EMED®, y revelaron que los niños mostraban una menor presión pico en todas las áreas anatómicas y bajo la influencia del peso corporal, con un desarrollo casi completo del ALI antes de los 6 años, aunque continuase su evolución a partir de esa edad [20, 44]. También con esta plataforma, Bosch y cols. estudiaron el patrón de desarrollo del paso de niños de 1 y 7 años y adultos, jóvenes y mayores, y encontraron diferencias significativas para casi todos los parámetros estudiados en todos los grupos de edad, con un incremento progresivo de las presiones pico. Los niños de un año presentaron una carga y un área de contacto en el mediopié superior a las del resto de grupos, mientras que los adultos mostraron mayores tiempos de contacto total que los niños [45].

En cuanto a la relación de las presiones plantares con otras características de la marcha, Chang y cols. estudiaron en niños con el sistema Footscan® el impacto del ángulo del paso en las presiones plantares y encontraron una correlación estadísticamente significativa entre éste y el porcentaje de impulso de las zonas mediales, aunque señalaron que otros factores, podrían también influir en la distribución de presiones [46]. La baropodometría se ha utilizado también para comparar el comportamiento estático y dinámico del pie en desarrollo [47, 48] y para el estudio de las alteraciones infantiles del pie y la marcha [11, 49-53].

2.2. EL PATRÓN DE MARCHA INFANTIL

Perry enunció que los requisitos indispensables para que el patrón de marcha esté dentro de los parámetros de normalidad son la estabilidad durante la fase de apoyo, que exista progresión y que se mantenga la conservación de la energía. La estabilidad durante el apoyo es el resultado de la integridad del sistema músculo-esquelético y del SNC; la progresión se produce por la anteriorización del tronco, los momentos de fuerza creados por el tríceps sural y el movimiento de balanceo de la pierna contralateral; y la conservación de la energía se logra mediante los distintos mecanismos de control del desplazamiento del CG. Estos requisitos se cumplen cuando existe un buen equilibrio del tronco y de las extremidades que

evite la caída, una adecuada actividad muscular que impulse la progresión y una correcta coordinación que permita controlar los momentos de fuerza generados, la transferencia activa de energía entre los segmentos y la disminución de los desplazamientos del CG. La marcha infantil, por tanto, no puede presentar características de normalidad hasta que la madurez e integridad del SNC, la actividad y coordinación muscular y la longitud de los MMII lo permitan [27, 54].

2.2.1. EVOLUCIÓN DEL PATRÓN DE MARCHA EN EL NIÑO

El patrón de marcha normal es adquirido por el niño a los 5-7 años de edad, tras experimentar progresivas modificaciones desde el inicio de la misma, que se produce hacia los 15 meses [31]. Cuando inicia la marcha el lactante inclina el cuerpo hacia delante, colocando los miembros superiores abducidos, con los hombros en rotación externa y los codos flexionados [28, 30]. Mantiene los MMII muy flexionados y en abducción, para aproximar el CG a la superficie de apoyo y aumentar la base de sustentación, logrando así un mayor equilibrio (Figura 4). La cadencia de la marcha es muy alta, pues los MMII se proyectan hacia delante en una trayectoria irregular y chocan contra el suelo rápida y bruscamente, de forma que el contacto con el suelo se establece de forma casi digitígrada [30, 55, 56]. De forma progresiva y en relación con la edad del niño, la inclinación del tronco y la posición de flexión de las extremidades superiores e inferiores disminuye. Como resultado, el paso se alarga y el apoyo del pie se realiza con toda la planta, generando una cadencia más lenta y una velocidad mayor, así como una mayor duración de la fase de apoyo, considerada un indicador de la estabilidad [31].



Figura 4: Patrón típico al comienzo de la marcha independiente. Fuente: Dominici y cols. [55].

Perry destacó como determinantes del patrón de marcha infantil tres parámetros fundamentales en la reducción del gasto energético mediante la disminución del desplazamiento del CG durante la marcha, que se alcanzan en la mayoría de casos a los 2 años de edad, y son: el movimiento recíproco de los miembros superiores, la flexo-extensión de la rodilla y la presencia de un contacto inicial pie-suelo a través del talón [27, 54]. En general, las características cinemáticas correspondientes al rango de movimiento articular en el plano sagital que presenta el patrón de marcha de los niños de 2 años varía muy poco con respecto a los parámetros obtenidos a partir de los 7 años, mientras que los parámetros de tiempo y de longitud del paso se modifican de forma gradual, debido fundamentalmente a la progresiva maduración neuromuscular y al cambio de las medidas antropométricas del niño por su crecimiento [54, 57].

Por otro lado, Sutherland consideró, como parámetros determinantes de la maduración y el completo desarrollo del SNC y del aparato locomotor del niño, la duración del apoyo unipodal, la velocidad de la marcha, la cadencia, la longitud del paso y la relación entre la anchura pélvica y la separación entre ambos tobillos. Indicó que el patrón de marcha maduro está bien establecido en la mayoría de los niños a los 3 años y a partir de esta edad la longitud del paso y la velocidad aumentan, mientras disminuye la cadencia. Las diferencias con respecto a la marcha del adulto incluyen una mayor flexión de la rodilla durante la respuesta a la carga y su frecuente hiperextensión durante el apoyo monopodal, además de una rotación pélvica y una rotación y abducción de la cadera ligeramente mayores, con las rodillas en progresión neutra o levemente interna [31]. En una revisión posterior de su estudio, estableció que la longitud del paso, la cadencia y la velocidad de la marcha muestran evidencia de la maduración del SNC hasta aproximadamente los 4 años de edad. Las mediciones dinámicas de los ángulos articulares indican también la estabilización de la marcha de los 3 años y medio a los 4 años, aunque existe mayor variabilidad intra e intersujeto en los niños de todas las edades que entre los adultos [10].

2.2.3. EL EQUILIBRIO COMO INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MADUREZ

Para mantenerse en bipedestación y caminar sin apoyo el niño tiene que aprender a utilizar conjuntamente la información sensorial y la acción motora para actuar en el entorno, a partir del mantenimiento de la estabilidad postural y el equilibrio [58]. Estos parámetros se

han valorado recientemente en niños a través de la medición del desplazamiento del CG, a partir del modelo del péndulo invertido en el cual se considera que el CG del cuerpo se balancea por encima del MI de apoyo formando un arco (Figura 5) [59]. Este mecanismo no está presente en los niños que comienzan a caminar, pero el comportamiento del péndulo invertido y el acoplamiento estandarizado del movimiento angular de los segmentos de los MMII evolucionan de forma conjunta y rápidamente hacia valores maduros con unos pocos meses de experiencia de marcha independiente [60, 61]. De los 2 a los 8 años y hasta la edad adulta el equilibrio dinámico durante la marcha aumenta significativamente; sobre los 6-7 años se produce una recalibración de los procesos sensoriales que subyacen al control del equilibrio, debido a un pico de crecimiento del tronco que origina una repentina elevación del CG, y a partir de los 7-8 años los sistemas visual, vestibular y propioceptivo se coordinan de forma más eficiente, lo que produce un mejor control del equilibrio dinámico [4, 58].

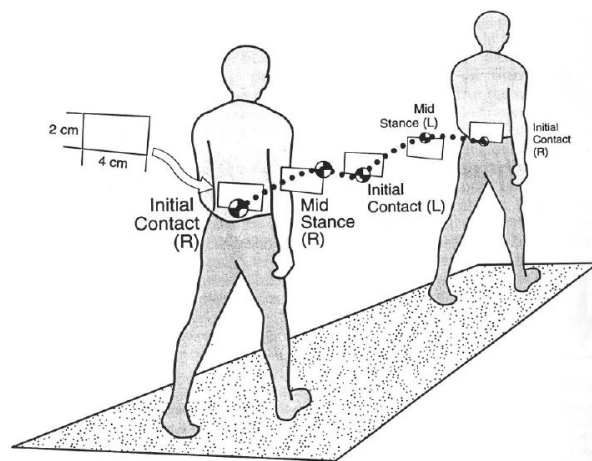


Figura 5: Trayectoria normal del centro de gravedad corporal durante un ciclo de marcha. Fuente: Perry [27].

Pero la adquisición de la estabilidad dinámica en los niños supone que, además de que la proyección vertical del CG esté dentro de la base de sustentación, la velocidad de su desplazamiento sea la adecuada, para lo cual la movilidad articular coordinada entre los dos MMII ha de combinarse con la modulación muscular de este desplazamiento [62, 63]. La velocidad escogida espontáneamente, así como otras cualidades del patrón de marcha, son factores individuales adaptados a las características y circunstancias del niño, que corresponden al equilibrio entre la actividad muscular y los componentes inerciales o de resistencia del movimiento, necesario para asegurar el mínimo consumo energético, que se traduce mecánicamente en el mínimo desplazamiento del CG [1, 60, 63]. La actividad muscular es regulada de forma muy precisa por el SNC mediante el generador rítmico de

patrones, situado a nivel medular y encargado de los patrones automáticos, y los centros superiores, involucrados en los ajustes anticipatorios y retroactivos del cuerpo durante la marcha. Gracias a este control, se realizan acciones coordinadas en los cuatro miembros que optimizan la eficacia del patrón, obedeciendo a una estrategia de fatiga mínima [64]. Por ello, cualquier alteración en uno de los sistemas origina trastornos en la marcha y el equilibrio, como puede observarse en las alteraciones leves del desarrollo infantil, y la actividad sensoriomotora, el equilibrio, la eficacia energética y el control central pueden considerarse como aspectos interrelacionados en el proceso de neurodesarrollo infantil [65].

2.3. MARCHA Y DESARROLLO NEUROMADURATIVO

Desde la llegada al mundo del niño, cuando empieza a patalear, comienza un período de unos doce meses en el que estos movimientos, aparentemente indiferenciados, aleatorios y sin objetivo, se transforman para permitir la aparición de la marcha bípeda, que no dejará de modificarse [66, 67]. El desarrollo de la marcha se puede considerar desde la perspectiva de los sistemas dinámicos enunciada por Thelen y cols., que invita a priorizar en la comprensión de las funciones humanas la constante adecuación del comportamiento a las características propias y del entorno en cada momento, considerando cada tarea desde un enfoque integral basado en el bucle percepción-acción. Esta aproximación facilita la comprensión del proceso global de desarrollo y del niño, de sus alteraciones y de la actuación terapéutica [66, 68, 69].

2.3.1. LA TRANSICIÓN DESDE PATRONES MOTORES INNATOS HASTA EL CONTROL VOLUNTARIO

El desarrollo de las habilidades motoras bajo control voluntario, ordenado desde los centros superiores de control, ha sido ampliamente investigado por autores como Zelazo y cols., que indicaron que los llamados reflejos primitivos son patrones motores innatos, automáticos, que pueden ser modificados por el aprendizaje instrumental para convertirse en respuestas controladas voluntariamente mediante práctica y experiencia. Este modelo, de-reflejo-a-instrumental, propone que las transiciones en el comportamiento motor están en relación directa con cambios en el procesamiento central y, por ello, la maduración cognitiva y la capacidad para procesar información pueden ser factores limitantes para el logro de la locomoción bípeda independiente [66, 70]. Así, las competencias motoras reflejas del neonato

humano, tales como la reacción de sostén o de dar pasos con apoyo, son respuestas estereotipadas que permanecen en el repertorio de movimientos del niño hasta aproximadamente el final del tercer mes, cuando tradicionalmente se piensa que desaparecen. Su desaparición ha sido atribuida a la inhibición por la maduración de centros corticales superiores, aunque estas respuestas son cinesiológicamente similares a los patrones usados en la marcha, y podrían estar también implicados otros factores como el incremento de masa corporal y el enlentecimiento en la adaptación neuromuscular ante este cambio [66, 71]. La teoría de los sistemas dinámicos considera que el desarrollo de habilidades locomotoras es el resultado de un fenómeno multidimensional de integración progresiva de las distintas capacidades perceptivas y motoras [32, 68].

Hacia el año de edad, aproximadamente, aparecen cambios cualitativos en la función motora en sincronía con cambios en la habilidad de procesar información, de manera que en un corto período de tiempo se producen profundos cambios en el desarrollo motor, cognitivo y lingüístico. Los niños dan sus primeros pasos independientes, dicen sus primeras palabras y comienzan a usar los objetos en una actividad dirigida a un objetivo. Zelazo propuso que la base para estos cambios se encuentra en una transformación en la habilidad para procesar información que permite que los niños puedan crear asociaciones y recuperar información almacenada con rapidez, transformación que resulta particularmente significativa para el desarrollo motor [66, 70]. Así, los cambios en la capacidad de procesamiento central permiten la integración de habilidades espaciales, perceptivas y de coordinación que favorecen la transición de la locomoción cuadrúpeda a la bípeda [72].

En este proceso, los patrones motores innatos son retenidos dentro de una jerarquía de comportamiento motor y resultan modificados desde una respuesta estereotipada subcortical hasta una regulada por un centro superior de control. Estos patrones constituyen la base para el comportamiento motor voluntario posterior y su transformación sucede gradualmente durante la infancia y la niñez mediante práctica y experiencia, con una continuidad en la función motora. Por tanto, la creencia tradicional de que las formas innatas y posteriores del mismo comportamiento motor no están relacionadas no parece resultar válida, sino que el aprendizaje instrumental explica la modulación del control motor [66, 70]. En la función de marcha, Forssberg validó este modelo confirmando el mantenimiento electromiográfico del patrón, aunque la marcha automática neonatal difiere de la madura en que el primer patrón parece ser iniciado por un estiramiento sobre la cadera cuando el niño es inclinado hacia

delante para iniciar la marcha, el niño necesita soporte externo para permanecer erecto y la marcha es digitígrada más que plantígrada [34]. Además, durante la locomoción madura la flexión de cadera y rodilla están acopladas pero hay una fase inversa en el tobillo y esta inervación recíproca entre flexores y extensores de la cadera y la rodilla y los del tobillo – en vez de la coactivación presente en la marcha inmadura – permite el desarrollo del choque de talón. Pero las diferencias no excluyen la continuidad del patrón, pues la marcha automática, la locomoción con apoyo y la marcha independiente en los niños comparten componentes constituyentes, los cuales tienen una progresión de desarrollo. Esta evolución sugiere que los cambios graduales en la organización del paso son evocados por las demandas dinámicas funcionales de la locomoción bípeda, junto con el desarrollo del equilibrio, el control postural y la fuerza durante el primer año de vida [71, 73].

2.3.2. CONTROL CENTRAL DE LA LOCOMOCIÓN

Forssberg postuló una teoría de control neural para explicar los cambios en la ontogénesis locomotora. Enunció que redes neuronales innatas, posiblemente controladas a nivel medular, generan patrones locomotores y, mientras estos patrones cambian con la maduración del mecanismo central de control, el mismo circuito neural es utilizado para la locomoción del recién nacido y para la marcha madura [34]. Otros autores también apoyaron la idea de un programa central motor que genera un patrón de movimiento caracterizado temporal y espacialmente, pues los patrones de pataleo y marcha constituyen una respuesta isomórfica y con una coordinación entre extremidades, presente ya poco después del inicio de la marcha independiente [74-78]. Pero ya desde el comienzo de la marcha, los niños varían su estrategia en función de sus propias características y las del entorno, lo que refleja una capacidad emergente para la organización dinámica [71, 77-79]. Entre los estímulos que determinan cambios en el patrón de marcha infantil, el proporcionar un soporte físico produce la disminución de su variabilidad, lo que puede apoyar la hipótesis de que los nuevos andadores no son capaces de integrar los componentes conceptuales, cognitivos y motores requeridos para producir un movimiento coordinado, o bien proporcionar la idea de que el soporte físico, al ayudar al control del equilibrio antigravitatorio y la postura, precarios en esta edad, permiten la emergencia consistente del patrón de marcha [34, 66].

A su vez, la regulación de la postura y el equilibrio parece depender de un centro superior de control motor que se desarrolla durante la infancia, el cual puede relacionarse con

la marcha activada espinalmente hacia el final del primer año [66]. Forssberg ya hipotetizó que el desarrollo de la locomoción independiente depende de la maduración del sistema de equilibrio y no se realiza exclusivamente por los cambios en el patrón locomotor, pues observó que los niños no parecen realizar voluntariamente la marcha hasta que el equilibrio se desarrolla adecuadamente para mantener el control postural antigravitatorio [34]. Algunos autores abogan por atribuir la mayor importancia en este proceso al tronco, junto con la cabeza y la pelvis, pues lo consideran un marco inicial de referencia fundamental para el control de la orientación y el equilibrio y que implica un desarrollo del control postural de egocéntrico a exocéntrico [80]. No obstante, no se puede considerar el control postural del tronco como independiente a los patrones de movimiento sino que parece existir una interrelación bidireccional entre el control postural y la actividad locomotora, como demuestra la variación de los patrones de pataleo en las diferentes posturas y que los niveles de desarrollo locomotor en niños resultan mejores predictores del control del equilibrio estático que la edad [81, 82].

Se puede considerar que el desarrollo de la marcha corresponde a un proceso de aprendizaje progresivo para producir y modular fuerzas de propulsión y afrontar situaciones de desequilibrio dinámico durante el acto de caminar [83]. Resulta factible pensar que este aprendizaje, estrechamente relacionado con la experiencia, pueda realizarse a partir del progresivo control descendente, pues mediante el estudio de la variabilidad de la actividad electromiográfica del tibial anterior en niños, al caminar en una cinta de marcha, se ha hallado con el incremento de la edad una disminución de la variabilidad de la posición del pie durante la fase de balanceo, que ha sido relacionada con la maduración del control corticoespinal de los músculos dorsiflexores del pie, con etapas diferenciadas a los 4-6 y a los 7-9 años de edad [84]. En relación con estos conceptos, el desarrollo de una marcha con choque de talón a partir de la digitígrada ha sido considerado como un resultado de adaptaciones posturales y motoras a partir del desarrollo central [34, 69].

En cuanto a la evolución de este control central, Bril y Brenière establecieron un proceso de adquisición de la marcha en dos fases, la primera de aprendizaje de los requerimientos posturales de la marcha, de 3 a 6 meses después del comienzo de la marcha independiente, y la segunda, que dura varios años, destinada a un fino ajuste de la marcha que se estabiliza hacia los 7-8 años, edad en la que el control del desplazamiento del CG y el patrón de activación muscular adulto son completos [2, 83, 85, 86]. Posteriormente estas

mismas autoras determinaron que la capacidad postural necesaria para controlar el equilibrio con la musculatura de los MMII no se consigue antes de los 4-5 años de marcha independiente, es decir, a los 5-6 años de edad [32]. Sin embargo, el control de la cabeza, la integración de los parámetros corporales y el desarrollo de ajustes posturales anticipatorios necesitan al menos de 8 años de experiencia de marcha para desarrollarse y, además, la experiencia de actividades de locomoción tiene un papel determinante en el control del movimiento de los MMII y del equilibrio hasta, al menos, los 10 años de edad [87-91]. En este proceso, el control postural antigravitatorio, el equilibrio y la coordinación de movimientos requieren una considerable integración de los componentes sensoriomotores junto con la intención motivacional para conducir el movimiento, con las funciones superiores gobernando dicha respuesta [66, 78].

2.3.3. INTEGRACIÓN ENTRE LA ACCIÓN, LA PERCEPCIÓN Y LA COGNICIÓN

Como se ha expuesto, el desarrollo motor temprano se produce a partir de una organización prefuncional en el SNC del niño para el movimiento, mediante patrones neuromotores elementales, con un alto grado de estereotipia, que se activan bajo condiciones específicas de liberación en todos los niños y representan movimientos complejos primordiales que anuncian la posterior aparición de actividades como arrastrarse, gatear, sentarse y caminar. Los patrones neuromotores innatos están organizados, proporcionan un sustrato a partir del cual se desarrollan los movimientos controlados y favorecen la ejecución de patrones de movimientos rítmicos, temporal y espacialmente. Pero aunque estos patrones primitivos marquen el comienzo de algunos actos motores, en conjunto, el desarrollo motor depende de la biología, el comportamiento y el entorno del niño, pues responde a las demandas y características del exterior y del propio cuerpo, combinadas entre sí [66, 69, 92-94]. Por ejemplo, se ha referido que las aferencias producidas al asumir una postura vertical podrían fomentar el interés del niño en eventos distantes y proporcionarle la motivación para dar sus primeros pasos independientes [70].

Desde mediados de la década de los 80, el estudio de la adquisición de las habilidades motoras ha experimentado un renacimiento bajo una nueva corriente que enfatiza la naturaleza multicausal, fluida, contextual y auto-organizada del cambio del desarrollo, la unidad de la percepción, acción y cognición y el papel de la exploración y selección de informaciones y estrategias en la emergencia de nuevos comportamientos [95]. A la vez que

la transición a la marcha independiente produce cambios significativos en la forma en que los niños se relacionan con su entorno, este hito se concibe como un proceso de integración durante el cual el niño tiene que aprender a ajustar las sinergias posturales para mantener el equilibrio en las fases dinámicas de apoyo mono y bipodal [2, 96]. Para ello, todas las aferencias que recibe han de diferenciarse y seleccionarse previamente, especialmente en situaciones de conflicto sensorial en las que la información no es congruente, para lo que resulta fundamental el desarrollo de cada modalidad, pues cambios en uno o más de los sistemas sensoriales podrían subyacer a los cambios comportamentales que ocurren durante el desarrollo motor [2]. Se ha demostrado que diversas informaciones sensoriales pueden generar cambios en la estrategia motora ya desde etapas tempranas, condicionados por las variaciones del entorno y del propio cuerpo (Figura 6). La exploración permite el control prospectivo de la marcha desde los primeros pasos, aunque su control adaptativo requiere de un largo proceso de aprendizaje de la relación entre la información percibida y las consecuencias para el control del equilibrio [94, 97-101], que puede estar limitado por la capacidad cognitiva [66, 70].



Figura 6: Situación experimental diseñada para evaluar la adaptación del patrón de marcha del niño ante las distintas características del entorno y del propio cuerpo, así como la influencia de la motivación. Fuente: Adolph y Avolio [94].

De este modo, existe un progresivo control de los distintos sistemas implicados en la marcha, el cual produce una evolución del patrón en el que la experiencia tiene una mayor influencia que las dimensiones corporales o la edad, lo que apoya la teoría del aprendizaje

instrumental [70, 98, 102]. En este proceso, tienen un importante papel la motivación, la percepción del riesgo y, en general, los procesos corticales superiores, con una relación recíproca entre la locomoción adaptativa y la cognición [103, 104]. Los límites y las ventajas para resolver problemas y la capacidad perceptiva y cognitiva afectan a la habilidad de los niños para moverse en un entorno cambiante, mientras que el desarrollo locomotor les ofrece nuevas oportunidades de aprendizaje sobre sí mismos, el medio que les rodea y la relación entre ambos [97].

3. VALORACIÓN DEL PIE, LA MARCHA Y EL DESARROLLO

3.1. FACTORES IMPLICADOS EN EL DESARROLLO INFANTIL

Cuando se sospecha de una alteración del desarrollo durante una valoración del pie y la marcha hay que considerar que, aunque frecuentemente las anomalías del pie son culpadas del retraso en el desarrollo motor, incluso aquellos niños con anomalías severas no tratadas caminan razonablemente bien si su desarrollo es normal. Sin embargo, si tienen un problema neuromuscular subyacente u otra alteración que cause retraso motor, entonces la corrección de la deformidad del pie no mejora el desarrollo [22]. Para realizar una valoración exhaustiva y reconocer los casos en los que una alteración del pie y la marcha infantil requiere estudio y tratamiento, se ha de partir del conocimiento del desarrollo normal del niño y sus principales factores de riesgo (FR) [105]. Para detectar estos factores, orientar la valoración e informar adecuadamente a los padres o tutores, resulta fundamental la entrevista clínica, que permite conocer la historia pasada y actual del niño, con especial interés en los hitos del desarrollo neuromadurativo y los posibles FR, y también permite recoger la existencia de síntomas, si los hubiese, así como de otras alteraciones, e indagar acerca de los hábitos de vida y actividad física y otras cuestiones que se consideren de interés [17, 105-107].

3.1.1. FACTORES DE RIESGO BIOLÓGICO Y AMBIENTAL

Entre los FR para una deficiencia infantil se ha de diferenciar entre FR biológico y FR ambiental o psico-social, que fueron definidos en 1982 por el Comité de Perinatología del Plan Nacional de Prevención de la Subnormalidad y modificados posteriormente por la Sección de Perinatología de la Asociación Española de Pediatría (Anexo 1). En función de los riesgos a los que han sido o están expuestos, se consideran niños de riesgo biológico aquéllos que durante el periodo perinatal o su desarrollo temprano están sometidos a situaciones médicas que podrían alterar su proceso madurativo; los niños de riesgo psico-social son aquéllos que viven en unas condiciones sociales poco favorecedoras [108]. Estos factores, excepto los malos tratos, por lo general afectan al desarrollo cognitivo, social o emocional del niño y, en muchas ocasiones, se suman a los efectos de factores biológicos [109].

Desde un punto de vista más analítico, los factores que influyen en el neurodesarrollo neonatal e infantil pueden clasificarse en FR genéticos y constitucionales, demográficos y psicosociales, nutricionales, producidos por patología materna, factores obstétricos, derivados de la atención prenatal, producidos por la atención del parto y del recién nacido, factores fetales, neonatales y de la infancia [110]. Esta clasificación incluye todos los aspectos que pueden influir en el desarrollo del niño y cuyos efectos se suman, pues tienen más riesgo de deficiencia los lactantes con múltiples FR. Además, se ha demostrado que muchas situaciones que se creía que eran causa de la deficiencia de un niño, como las dificultades en el parto, la prematuridad, la asfixia perinatal, el retraso del crecimiento intrauterino, etc., son indicadores o incluso están causados por daño previo del SNC [108, 109, 111].

La progresiva estabilidad en los porcentajes de morbilidad neonatal durante las últimas décadas ha provocado un aumento progresivo de la proporción de niños en situación de vulnerabilidad biológica [106]. La prematuridad, cuya prevalencia no ha dejado de aumentar, es el factor de riesgo más relevante para la aparición de alteraciones del desarrollo neuromadurativo [109, 112, 113]. Debido a que los trastornos que frecuentemente presentan estos niños se detectan a largo plazo, entre los 2 y los 4 años los trastornos del lenguaje, motores o conductuales y a partir de los 5 ó 6 años las alteraciones más sutiles, como dificultades de aprendizaje o emocionales [106], se considera necesario establecer un programa de seguimiento, desde el nacimiento hasta los 6 ó 7 años de edad, de todos aquellos niños que estén en situación de riesgo neuro-psico-social [109].

3.1.2. FACTORES MECÁNICOS

La hiperlaxitud articular, de mayor prevalencia en niños que en adultos, ha sido relacionada con la aparición de dolor musculoesquelético, aunque esta asociación se encuentra en discusión en los niños. Con posibles factores influyentes como la raza y el género, la hiperlaxitud se considera un FR mecánico para diversas alteraciones de los MMII y, especialmente, del pie, como los pies planos, y también se ha relacionado con una pobre habilidad física y con el retraso motor precoz sin evidencia de déficit neurológico [114-118].

El peso corporal se ha estudiado como factor de influencia en el desarrollo de los MMII en los niños, pues el sobrepeso incrementa los problemas del pie y el tobillo al originar una menor capacidad de adaptación ante cargas variables. También está relacionado con el

genu valgum, que se asocia en numerosas ocasiones con la pronación del pie, pero no está clara su posible relación con el incremento de la prevalencia del pie plano [116, 119-122].

Otro factor mecánico a destacar en el desarrollo de los MMII es el papel que tienen las diferentes posturas que adopta el niño en sus actividades de la vida diaria, como la sedestación, que puede dar lugar a la aparición de problemas ortopédicos si es inadecuada. Las posturas nocivas más frecuentes que el niño adopta espontáneamente para jugar sentado en el suelo son la sedestación en “W” y en “long-sitting” (Figura 7). En la primera, el niño se sienta con los glúteos entre los muslos y los MMII se encuentran en rotación interna y flexión, en una posición en la que las articulaciones y los tejidos blandos sufren tensiones excesivas y condicionan el desarrollo esquelético [105, 123]. De hecho, esta postura es adoptada fácilmente por los niños y las niñas con alteraciones torsionales internas de los MMII [17]. En la sedestación “sacra” o en “long-sitting” el niño se sienta con los MMII extendidos, apoyándose sobre el sacro, con la pelvis en retroversión, la columna en cifosis total y la cabeza hiperextendida. Ésta es la posición que adoptan espontáneamente los niños y niñas con un tono postural bajo [105].

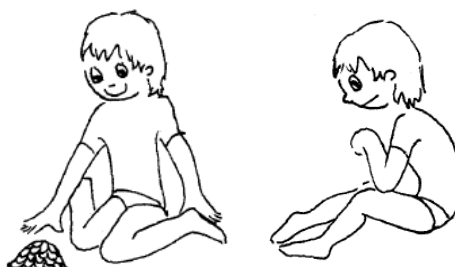


Figura 7: Sedestación en “W” y en “long-sitting”. Fuente: Levitt [123].

La dominancia, o uso preferente de un miembro, ha sido relacionada con la asimetría corporal, si bien en los niños de edad preescolar ésta no se encuentra aún completamente definida [124]. La asimetría podría resultar de las diferentes demandas funcionales asociadas a la lateralización, pues en los MMII, aunque la mayoría de actividades requieren el uso de ambos pies, el que se moviliza y tiende a desarrollar las tareas motoras más finas de forma habitual es el llamado pie dominante, mientras que el no dominante mantiene el equilibrio del cuerpo y soporta más carga. Esto podría haber originado el hallazgo de un ALI más bajo en el pie no dominante de una población de adultos, que los autores consideraron una consecuencia de la elongación ligamentosa consecuente al incremento de carga, pero también indicaron como posible causa que la diferencia de longitud entre los MMII, con la pierna izquierda

habitualmente más larga, origina la pronación de este pie para mantener la alineación de la pelvis en el plano frontal [125, 126].

3.2. VALORACIÓN DE LA MORFOLOGÍA Y LA MOVILIDAD DE LOS MIEMBROS INFERIORES

Después de una exhaustiva anamnesis, es necesario un completo examen físico, en el que las mediciones clínicas resultan de gran utilidad. En el presente trabajo, este examen se ha limitado a la valoración de la estática y la movilidad de los MMII, para cuya evaluación se ha descrito una gran diversidad de pruebas entre las cuales se desarrollarán solamente las que se han considerado de mayor relevancia para los objetivos del estudio, enfocadas a la evaluación funcional del pie y su posible relación con la marcha y los segmentos superiores, que utilizan en su mayoría la medición goniométrica [17, 127].

3.2.1. MEDICIONES CLÍNICAS DE LOS MIEMBROS INFERIORES

El goniómetro universal es el instrumento más utilizado para las mediciones del rango articular, que permiten objetivar las alteraciones en la movilidad articular y, en algunos casos, estimar su posible origen. La goniometría es considerada el “*gold estándar*” de la evaluación del rango articular por muchos autores, pues su validez es ampliamente aceptada, sobre todo cuando las mediciones son realizadas por el mismo examinador [127, 128].

3.2.1.1. Ángulo poplíteo

Este test, también denominada prueba de extensión pasiva de la rodilla, fue definido por Gajdosik y Lusin en 1983 en su versión para evaluar la movilidad activa y se modificó posteriormente, eliminando la actividad voluntaria para valorar la extensibilidad pasiva [129, 130]. En niños, algunos autores la han empleado en sustitución de la medición de la extensión de la rodilla, al considerar que sus resultados son más interesantes, y resulta una prueba de gran interés debido a las repercusiones del acortamiento isquiotibial en la estática y la dinámica corporales [127, 131].

La versión clásica de la prueba sitúa al sujeto en decúbito supino con el MI a evaluar en flexión de cadera de 90°, sostenido por el evaluador que a su vez extiende la rodilla hasta llegar a la posición máxima, donde se realiza la medición angular. Ésta se realiza al final del movimiento, cuando se obtiene una sensación de tope final firme debido a la tensión de los músculos isquiotibiales [127, 128]. El ángulo poplíteo es el arco de movimiento que falta para obtener la extensión completa de la rodilla, pero algunos autores utilizan el ángulo suplementario al indicado por considerar que da una respuesta más adecuada al concepto de movilidad y facilita la recogida de datos [130, 132].

Su fiabilidad y su correlación con la evaluación visual han sido estudiadas recientemente, encontrándose elevados valores de precisión en la medición visual y goniométrica de este ángulo en niños para un mismo examinador, alcanzando coeficientes de correlación intraclass (CCI) de hasta 0,929 [127, 133]. Aunque no se han encontrado valores de referencia para niños sin alteraciones de entre 3 y 6 años, en algunos estudios comparativos los niños del grupo control, con 6 años de edad, presentaron un ángulo poplíteo de $12 \pm 13^\circ$ y de $17,9 \pm 14,7^\circ$ [134, 135].

3.2.1.2. Flexión dorsal pasiva del tobillo

La amplitud en FD del tobillo supone, en la versión pasiva de la prueba, la evaluación de la extensibilidad de la unidad músculo-tendinosa de los flexores plantares, especialmente del tríceps sural (Figura 8). Se puede medir en diversas posiciones, siendo una de las más utilizadas el decúbito prono con el pie por fuera de la mesa de examen, pues permite una sencilla estabilización del segmento proximal para realizar la medición con la rodilla extendida y realizar a continuación la misma medición con la rodilla flexionada a 90° para evaluar de forma más específica el sóleo [15, 16]. La escasa diferencia entre los valores de ambas mediciones, en presencia de una limitación importante de la movilidad, indica una posible retracción músculo-tendinosa [136-138].

El goniómetro es el instrumento de uso más extendido para realizar esta medición y ha demostrado una alta fiabilidad para la medición de la FD activa del tobillo (CCI = 0,92) [139, 140]. En niños han sido recomendadas específicamente las mediciones goniométricas de la movilidad del tobillo frente a la evaluación visual, para las cuales se pueden emplear diversas

alineaciones del goniómetro, por lo que resulta fundamental su definición en los protocolos de valoración [127, 128, 139, 141]. El rango de FD va disminuyendo con la edad, de forma que para los niños de entre 1 y 5 años es de $14,9 \pm 5^\circ$ y entre los 6 y los 12 años tiene una amplitud media de $13,8 \pm 4,4^\circ$ [128], aunque en niños de 6 años algunos autores han encontrado valores de $32 \pm 4^\circ$ y de $20 \pm 8^\circ$ [134, 135].

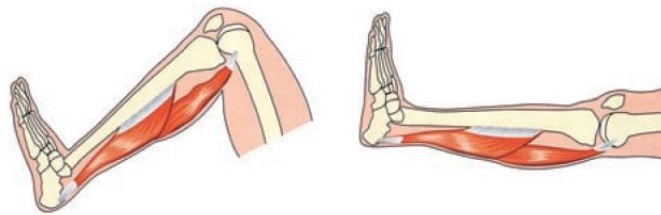


Figura 8: Evaluación de la dorsiflexión del tobillo en distintas posiciones de la rodilla, con la consecuente variación de tensión de los músculos gastrocnemios. Fuente: Delarque y cols. [29].

La medición de la FD del tobillo es muy utilizada, tanto en las exploraciones clínicas como en las investigaciones referidas al pie y la marcha, pues para caminar normalmente se requieren al menos $10\text{-}15^\circ$ de FD para que la tibia pueda avanzar sobre el pie en la fase de apoyo. Para correr se requiere aún más libertad de movimiento, de 0 a 20° , y muchas actividades habituales en la vida diaria, como levantarse de una silla, requieren una amplia FD del tobillo [128, 142, 143]. En niños, es frecuente su utilización por la relación entre la menor extensibilidad gastrosólea y la presencia de pies planos [137, 143-145].

3.2.1.2. Posición relajada del calcáneo en carga

La posición relajada de calcáneo en carga (PRCC) cuantifica la inclinación del talón en bipedestación relajada y es el ángulo entre la bisectriz de la cara posterior del calcáneo y la perpendicular a la superficie de apoyo [146-148]. Para valorarla de manera sencilla y rápida junto con el tercio distal de la pierna (TDP) y el ángulo de pronación, se utiliza frecuentemente el método descrito por Sobel y cols. [149].

Las mediciones clínicas de la posición del talón han mostrado una fiabilidad intraexaminador moderada en niños, con un CCI de entre $0,61$ y $0,90$ [150-152]. Respecto a sus valores de referencia, Evans y cols. hallaron en niños de entre 4 y 6 años una PRCC media de $4,02^\circ$ de eversión, desde 15° de valgo a 3° de varo y Sobel y cols. determinaron un valor medio de valgo de talón de $5,6 \pm 2,9^\circ$ en 124 niños de entre 5 y 17 años [151, 152].

La PRCC es una medición muy aceptada en ortopedia infantil, pues la deformidad del talón en valgo se asocia frecuentemente al pie plano y se utiliza junto con la altura del ALI para describir su severidad, aunque esta asociación es materia de discusión, al igual que el carácter evolutivo de la posición del talón en los niños [25, 149, 151, 153, 154].

3.2.1.3. Ángulo de pronación

Este ángulo mide la pronación en el plano frontal a nivel de la articulación tibio – peroneo – astrágalo – calcánea, a través del ángulo entre la bisectriz del calcáneo y la del TDP. Se estima que su medición proporciona información sobre el movimiento en la articulación subtalar y, probablemente en menor medida, sobre los movimientos del astrágalo en la mortaja tibio-peronea [155]. Su medición se realiza habitualmente junto con la PRCC, como se ha indicado con anterioridad, considerando el ángulo entre las líneas medias del calcáneo y el tendón de Aquiles, o bien sumando los valores de la PRCC y el TDP [149, 156, 157].

Su valor medio fue situado por Kanatli y cols. en $5,2 \pm 3,3^\circ$ en una población de 261 sujetos de 4 a 20 años, mientras que Pfeiffer y cols. hallaron en 835 niños un ángulo medio de $6,4^\circ$ en los niños de 3 años y de $4,5^\circ$ en los de 6 años, con valores que variaban de forma significativa en función de la edad, lo cual relacionaron con el incremento progresivo del ALI [120, 153]. En 150 niños de 6 a 16 años, Sobel y cols. determinaron un ángulo de pronación medio de $4 \pm 1,1^\circ$ y descartaron su evolución progresiva con la edad [149].

3.2.1.4. “Navicular drop” o test de la caída del navicular

La altura del ALI es uno de los principales criterios para clasificar las estructuras del pie, pero su principal limitación es no tener en cuenta su comportamiento dinámico [146, 158]. La necesidad de que la evaluación esté relacionada con la función y sea dinámica ha motivado la introducción de pruebas como el “*navicular drop*”, cuyo método más frecuente de medición es el descrito por Brody en 1982, en el que se evalúa la diferencia de altura de la tuberosidad del escafoides desde la posición neutra en descarga hasta la posición bípeda normal [146, 152, 159-162]. Para una aproximación más funcional al comportamiento del mediopié, Hawes y cols. y Saltzman y cols. propusieron realizar la medición de la altura de la tuberosidad del escafoides con el sujeto en carga, que corresponde a la altura del ALI, y

posteriormente sustraer su altura con el sujeto en la posición de apoyo monopodal sobre el pie a valorar, descansando el otro pie sobre una superficie elevada [158, 163].

Respecto a su fiabilidad y valores de referencia, Evans y cols. encontraron en niños de entre 4 y 6 años una fiabilidad intraexaminador moderada, con un CCI de 0,744, y un valor medio de caída del navicular de 6,23 mm, desde los 0 hasta los 15 mm [152]. Se considera que caídas superiores a 10 mm están relacionadas con un aumento del estrés de los tejidos y con debilidad muscular y que este método es una medida fiable de la pronación del pie, además de estar relacionado de forma más cercana con la marcha que las medidas tradicionales en el plano frontal [156, 157, 164, 165].

3.2.2. ANÁLISIS VISUAL DE LA HUELLA PLANTAR

Las medidas radiológicas de las estructuras del ALI han sido definidas como el “*gold estándar*” para el estudio de la morfología del pie, pero no siempre pueden aplicarse, sobre todo en la detección inicial de alteraciones leves [120, 146, 158, 163, 166, 167]. Por el contrario, la valoración visual es un método simple y fácilmente disponible para clasificar el pie en niños, que ha sido empleado por diversos autores para describir la historia natural del ALI o como medida de evaluación en el pie plano infantil [116, 146, 147, 154, 168, 169]. Aunque la clasificación del tipo de pie basada en la observación directa ha mostrado una alta variabilidad, Dahle y cols. recogieron un 73,3% de acuerdo entre tres fisioterapeutas experimentados en la calificación de los pies evaluados como pronados, supinados o normales [163, 170] y se ha demostrado la elevada fiabilidad en niños del Foot Posture Index, un método de clasificación del pie a partir de la observación y la palpación [152, 171].

El podoscopio, que consiste en una superficie transparente sobre la que se pone de pie el niño y un sistema de espejos para la visualización de la huella plantar, permite una evaluación detallada del área de contacto por debajo del pie [26, 146]. Su empleo facilita la clasificación del pie según los criterios de Viladot y cols. y la detección de otras características de la huella plantar como la disminución del apoyo del talón, la presencia de un estrechamiento del mismo o de un pico de pronación [169]. A pesar de su utilidad como herramienta de “*screening*”, es necesario considerar que el tejido blando de la superficie plantar es espeso y variable y puede enmascarar la verdadera configuración ósea del pie [159].

3.3. ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE LA MARCHA

Mediante el análisis instrumental de la marcha se pueden estudiar diferentes componentes de la misma, o bien de forma independiente o bien con un sistema integrado que valore los aspectos cinemático, cinético, electromiográfico y energético-metabólico [1]. La utilización de estos sistemas ha proporcionado importantes datos para comprender los procesos implicados en la marcha y poder evaluar de forma rigurosa los parámetros de marcha normal y patológica, tanto en el ámbito clínico como en el científico [172-174]. Entre sus principales ventajas está la gran cantidad de datos objetivos que proporcionan, pero hay que considerar que existe cierta subjetividad en su interpretación [175]. A continuación se describen los distintos sistemas que han sido utilizados para evaluar la marcha infantil.

3.3.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL

Aunque el análisis visual de la marcha es el método más sencillo para detectar alteraciones claramente perceptibles, se han desarrollado diversos sistemas para implementar la observación y facilitar la obtención de diversos parámetros objetivos. Los métodos cinemáticos permiten describir el movimiento mediante el análisis de desplazamientos, ángulos, velocidades y aceleraciones, lineales y angulares; lo realizan a partir de mediciones directas, utilizando captadores sobre el sujeto que realiza el movimiento, o indirectas, con marcadores activos o pasivos para materializar los puntos anatómicos. Los métodos cinéticos miden las fuerzas que el pie ejerce sobre el suelo, en los tres ejes del espacio, mediante plataformas dinamométricas o técnicas de registro de las presiones plantares. La electromiografía se utiliza como un indicador de la actividad muscular en cada fase de la marcha, pues registra la secuencia de actuación muscular y su intensidad. Las técnicas de análisis energético-metabólico proporcionan una información global acerca de la efectividad de la marcha, pues valoran el consumo de energía durante la misma [1, 26, 107, 176, 177]. En los laboratorios de análisis de la marcha se trabaja frecuentemente con un sistema integrado, formado por un sistema de análisis del movimiento en tres dimensiones como el Vicon®, plataformas de fuerza, un electromiógrafo y cámaras para la adquisición de datos, junto con un equipo informático [1, 178].

3.3.2. LAS PLATAFORMAS DINAMOMÉTRICAS

Una plataforma dinamométrica es una superficie plana cuyo desplazamiento mínimo, debido a una fuerza, se puede medir mediante unos sensores (galgas extensiométricas o cristales piezoeléctricos) conectados a un sistema electrónico de amplificación y registro [26]. Las de galgas extensiométricas están compuestas por una plataforma rígida de acero montada sobre cuatro columnas, sobre las cuales se producen pequeñas tensiones cuando se ejerce presión sobre la plataforma, lo que origina cambios sobre las galgas cuya medición se utiliza para determinar el punto de aplicación de dicha fuerza, la fuerza resultante y sus tres componentes espaciales. Las plataformas piezoeléctricas están compuestas por material con dichas propiedades, en el que se generan pequeñas cargas de electricidad estática como respuesta a la presión [107].

Respecto a los componentes de fuerza analizados, el vertical es el de mayor magnitud y expresa la carga del peso corporal sobre el pie, por lo que al estudiarla se observa una curva con dos picos, situados al inicio y al final de la gráfica, que coinciden con los momentos de amortiguación e impulso que tienen lugar en cada paso y en los cuales se registran valores superiores al peso del cuerpo. Los otros componentes son de menor magnitud, pues se originan por las fuerzas de fricción entre el pie y el suelo, y expresan la aceleración longitudinal y lateromedial que se produce durante el avance del cuerpo y el consiguiente desplazamiento del CP por la bóveda plantar. El componente anteroposterior expresa la fuerza originada por la recepción del peso y por la propulsión, mientras que el componente mediolateral, de menor magnitud, expresa la inestabilidad del sujeto en el plano frontal, y su suma expresa las fuerzas de torsión que generan los movimientos de rotación del MI durante la deambulación. La fuerza resultante de los tres componentes es la que representa la acción total de las fuerzas de acción-reacción que están actuando sobre el pie durante la marcha. Estas plataformas tienen amplias aplicaciones en campos como la ortopedia, la neurología, la rehabilitación y la medicina deportiva [26, 107, 176].

3.3.3. LAS TÉCNICAS DE REGISTRO DE LAS PRESIONES PLANTARES

Desde los años 80 existe un gran interés en los métodos de evaluación capaces de registrar el valor de las presiones plantares y de reflejar las modalidades de carga de los pies para interpretar sus trastornos estáticos y funcionales, prevenir las deformidades y planificar

tratamientos ortopédicos, quirúrgicos y/o fisioterápicos [179, 180]. Por ello, las técnicas cualitativas basadas en el estudio visual subjetivo de la interacción del pie con el suelo, como el podoscopio convencional, y las técnicas semi-cuantitativas, como el pedobarógrafo, dieron paso a técnicas cuantitativas que registran las presiones bajo cada zona del pie durante todo el ciclo de marcha, al transformar mediante transductores electro-mecánicos la presión en una magnitud eléctrica cuantificable. Se han desarrollado sistemas que toman las mediciones en contacto directo con el pie, como los captoreos o las plantillas instrumentadas, o bien en una plataforma sobre la cual camina el individuo [26, 169].

Las plantillas instrumentadas permiten la medición de la interacción entre el pie y el calzado sin restricción de espacio, pues el sujeto puede caminar libremente y se puede evaluar su marcha en distintas superficies, pero no recogen las componentes mediolateral y anteroposterior de la fuerza de reacción entre el pie y el suelo y están sometidas a continuas deformaciones. Su resolución disminuye cuando se manipulan y si se utilizan repetidamente o en diferentes zapatos, presentan problemas de construcción por su limitado tamaño y se requiere una plantilla para cada talla de calzado [26, 181]. Entre las más utilizadas, a partir del 1992 se empezó a emplear el sistema F-SCAN® y en 1994 el GAITSCAN® [181, 182]. A pesar de su limitada fiabilidad, se ha reconocido su utilidad clínica y científica, siempre que el examinador conozca sus limitaciones y las considere para la interpretación de los datos [183, 184].

Los baropodómetros analizan las presiones ejercidas en cada punto de la planta del pie a través de una plataforma. Existen sistemas de baropodometría óptica y electrónica, cuyo desarrollo tuvo un gran impulso cuando aparecieron sistemas informáticos que permitieron importantes mejoras de los registros y el análisis de los datos [177]. La baropodometría se combina habitualmente con plataformas de fuerzas, pues el tipo de transductores empleados limita su aplicación al estudio de cargas verticales, y también con otros sistemas como los cinemáticos [23, 26, 37, 51, 185]. Recientemente se ha integrado con sistemas ópticos y electromiográficos en sistemas de biometría digitalizada [186]. En cuanto a las principales plataformas desarrolladas, a partir de 1986 se comercializó el EMED System®, que ha sido utilizado en numerosos trabajos sobre el pie y la marcha infantil y ha demostrado una alta fiabilidad [20, 38, 41, 187-189]. No parecen haber tenido una gran repercusión científica el Musgrave Footprint® y el Podotrack®, y, más recientemente, se han comenzado a utilizar el Podynamic System® y el baropodómetro electrónico del sistema biométrico de Diasu® [177,

186]. A partir de 1994 se desarrolló en Bélgica el sistema Footscan®, utilizado en diversos estudios sobre la marcha infantil y cuyas características se expondrán posteriormente al ser la plataforma empleada en este trabajo [23, 37, 46, 50, 51].

En los últimos años, el análisis dinámico de las presiones plantares ha sido considerado una buena herramienta para valorar el pie y la marcha del niño, con el fin de prevenir alteraciones funcionales y deformaciones mediante la detección precoz de sus formas iniciales, aplicable en estudios a gran escala [11, 12, 177]. Ha permitido evaluar las características y la evolución de la marcha infantil [20, 23, 38, 39, 41, 185], sus alteraciones y el impacto de los diferentes tratamientos [49-53, 190].

3.3.4. EL SISTEMA FOOTSCAN®

El sistema Footscan® es un sistema baropodométrico que permite analizar cómo se reparten las presiones plantares, tanto en posición estática como cuando se camina sobre la plataforma, captando la evolución en el apoyo de cada pie [177]. En dinámica, el Footscan® divide por defecto el pie en las zonas del retropié, lateral y medial, del mediopié, de cada uno de los metatarsianos, del primer dedo y del segundo al quinto dedos; pero permite su ajuste en los individuos que así lo requieran. Proporciona de forma automática el porcentaje de contacto y de impulso del retropié, mediopié y antepié con respecto a los valores totales del pie. Calcula la presión media máxima y la presión pico que ejercen cada una de las zonas del pie durante el paso (Figura 9), además de su velocidad de aplicación, y para cada una de ellas indica también parámetros temporales como el momento de comienzo y de final de la presión, la duración del apoyo con respecto al tiempo total del paso y el momento en el que ha sido ejercida la máxima presión. Calcula también en cada ciclo de marcha para cada uno de los pies el ángulo de progresión o del paso y consta de herramientas para visualizar el equilibrio del pie durante la marcha, en las distintas regiones y mediante la comparación entre las zonas de un mismo eje. También se puede combinar con un sistema de diseño de ortesis plantares u otros sistemas de análisis, como plataformas dinamométricas o electromiógrafos [191].

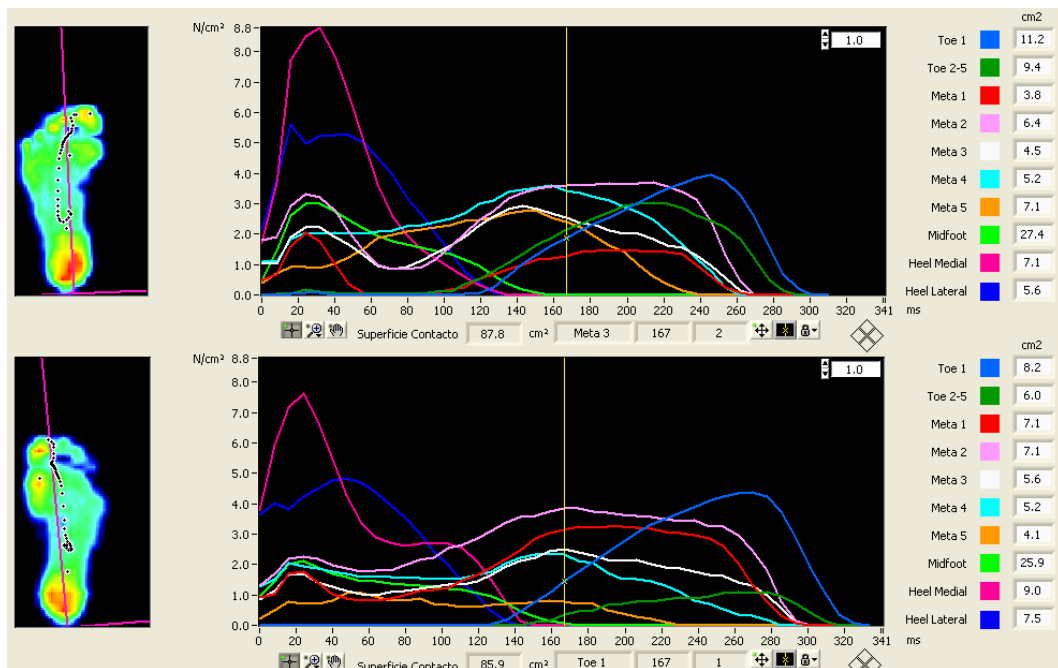


Figura 9: Análisis de la presión ejercida por cada una de las zonas del pie durante el desarrollo del paso de un AP, realizado con el Footscan®.

Quizás debido a sus múltiples posibilidades así como a su facilidad de uso, el sistema Footscan® ha sido empleado en niños para valorar los cambios en la función del pie durante los primeros meses de marcha independiente, para cuantificar el impacto del ángulo de progresión del pie sobre la presión plantar, para evaluar a niños con pie zambo tratado quirúrgicamente y con PCI tratados con toxina botulínica [23, 37, 46, 50, 51]. No se ha encontrado ningún trabajo de baropodometría en AP, pero su posible utilidad se ha puesto de manifiesto en el trabajo iniciado por nuestro grupo [192, 193].

3.4. VALORACIÓN DEL DESARROLLO NEUROMADURATIVO

Las alteraciones del desarrollo infantil se definen como las desviaciones transitorias o definitivas de los componentes anatómicos, funcionales o del comportamiento de los niños. Hay que entenderlas desde un punto de vista dinámico, pues una alteración de las conductas elementales de la actividad refleja se transforma a su vez en un riesgo para la adquisición de un comportamiento más complejo, porque conduce a retrasos en la adquisición de los esquemas de acción ligados a las funciones “atrapadas” en la actividad refleja. El organismo intenta compensar o reorganizar los comportamientos mediante estrategias diversas, pero la persistencia de lagunas o compensaciones parciales lleva al niño a nuevos riesgos de

alteración de otras funciones [110]. La valoración infantil ha de considerar esta evolución, de forma que en las etapas neonatales se evalúan los comportamientos espontáneos y provocados del niño mientras que en etapas posteriores se valoran los comportamientos complejos fruto de este desarrollo y las funciones superiores, utilizando pruebas que requieran la respuesta voluntaria del niño a retos inesperados y relacionados con una tarea variable [9, 194, 195].

3.4.1. LA NEUROPSICOLOGÍA INFANTIL Y LA DISFUNCIÓN CEREBRAL MÍNIMA

La neuropsicología es la rama de la psicología que se encarga de la aproximación a los procesos mentales y a su expresión comportamental. Su análisis parte de la intervención de estructuras anatómicas y fisiológicas en los procesos denominados superiores, como son la formación de imágenes mentales, la construcción de conceptos senso-perceptivos y el desarrollo de los procesos para el lenguaje y el aprendizaje. La neuropsicología infantil estudia estos procesos en fase de desarrollo, desde el embarazo hasta los 6 años, y trata de valorar las relaciones conducta-cerebro en el contexto de los cambios del desarrollo y la maduración, constituyendo un híbrido entre la neurología, la psicología evolutiva y la terapia física y ocupacional [111, 196]. Sus objetivos son la evaluación, la intervención preventiva o rehabilitadora y la investigación en la población infantil [106]. En nuestro país ha cobrado una progresiva importancia en las últimas décadas, pues las pruebas de evaluación neuropsicológica permiten detectar determinadas alteraciones cerebrales infantiles, como la disfunción cerebral mínima (DCM), que pasan desapercibidas en los exámenes y pruebas neurológicas rutinarias, aun siendo conductualmente relevantes [105, 106, 111, 197].

El término DCM fue utilizado por primera vez por Strauss en 1940 y en 1964 se produjo en Estados Unidos la primera definición consensuada: *“El término DCM se refiere a niños con inteligencia en torno a la media con ciertas dificultades de aprendizaje y/o conducta que se asocian con desviaciones en la función del SNC. Dichas desviaciones se manifiestan por la combinación de trastornos de percepción, conceptualización, lenguaje, memoria, control de la atención, de los impulsos o de las funciones motoras. Pueden estar causadas por trastornos genéticos, irregularidades bioquímicas, daño cerebral perinatal o por otras enfermedades o daño sostenido durante los años críticos del desarrollo y la maduración del SNC. La DCM puede ser de causa desconocida y puede permanecer durante toda la vida. En la edad escolar se manifiesta con una amplia variedad de dificultades de aprendizaje como condición necesaria”* [111, 198]. Los ámbitos que más se han relacionado

con la DCM son el trastorno por déficit de atención y las dificultades de aprendizaje, aunque ha recibido denominaciones como dislexia, hipercinesia o trastorno específico del desarrollo [106]. Algunos autores abogan por diferenciar las áreas de disfunción, como los problemas de comportamiento y de control motor, los trastornos específicos del desarrollo y otras alteraciones cognitivas en áreas como el lenguaje [199]. No obstante, se trata de alteraciones asociadas, por lo que los términos globales como “*dispraxia*” continúan en uso [106, 200].

La incidencia real de la DCM es difícil de precisar, ya que varían los criterios para su diagnóstico, pero algunos autores la han situado sobre el 10% de la población infantil e incluso por encima [197, 201]. Su etiología se desconoce en más de la mitad de las ocasiones, pero se estima que un 20% de los casos se produce durante el período prenatal y un 60% durante el período perinatal, como consecuencia de complicaciones durante el parto que generan fenómenos hipóxico-isquémicos. Además, cada vez hay más evidencias de la importancia de los factores genéticos en su origen y pueden estar implicados otros agentes infecciosos, traumáticos, farmacológicos, psicosociales, etc. La DCM sucede con mayor frecuencia en los varones, como consecuencia de su mayor vulnerabilidad neurobiológica, y su expresión puede demorarse en el tiempo [105, 106, 197].

La DCM se caracteriza por un incremento de los signos neurológicos menores, que acompañan a las alteraciones cognitivas, perceptivas, psicomotoras o conductuales [106]. El concepto de signos neurológicos menores fue aceptado, a partir de los estudios de Rutter y cols. en 1970, para referirse a distintos signos sensoriales y motores cuya presencia alertaba sobre la posible existencia de DCM: pobre coordinación, anomalías en la marcha, alteraciones en el tono postural, nistagmo, estrabismo, astereognosia, reflejos patológicos, movimientos en espejo y dificultades para el reconocimiento táctil [202]. Estos signos han sido considerados la expresión neuroconductual de la disfunción cerebral infantil y se presentan en muchas ocasiones en niños con inteligencia normal pero incluidos dentro del grupo de DCM [111, 203]. Su presencia, en relación directa con el grado de disfunción presentado y la alteración de las diferentes áreas, incluye alteraciones de lateralidad, esquema corporal, visopercepción, atención, memoria, motricidad o lenguaje [197]. Portellano y cols. clasificaron estos signos en trastornos psicomotores, sensoperceptivos y otros signos, tales como alteraciones del lenguaje, dificultades de aprendizaje y trastornos de conducta [106, 204].

En cuanto a la evolución de la DCM, algunos niños no consiguen normalizar su curva neuroevolutiva y presentan a medio o largo plazo trastornos cognitivos, del lenguaje o perceptivo-motrices. Estas dificultades requieren medidas específicas de intervención, más eficaces cuanto más pequeño es el niño y capaces de mejorar su calidad de vida [106, 111, 197]. En determinadas ocasiones las manifestaciones tienen una evolución favorable de modo espontáneo y progresivo, pero no por ello el niño queda libre de riesgo sino que son frecuentes las dificultades posteriores en tareas complejas, por ejemplo con la escolarización, por lo que resulta fundamental diagnosticar y rehabilitar los déficits durante la etapa preescolar en poblaciones de alto riesgo [110, 112].

3.4.2. PRUEBAS DE VALORACIÓN DEL DESARROLLO NEUROMADURATIVO

Al igual que la historia clínica es una vía indirecta para conocer los déficits del niño, la exploración neuropsicológica es un medio directo para conocer cuál es su estado, interpretando la conducta desde la actividad cerebral. Para ello, el protocolo ha de basarse en criterios objetivos y ser reproducible por el mismo examinador, además de ser lo más completo posible, e incluir los apartados de funcionamiento cognitivo general, lenguaje, funciones perceptivas, funciones motoras, lateralidad y personalidad. Su complejidad reside en que, mientras que la evaluación de las funciones motoras y sensoriales relacionadas con el movimiento es relativamente sencilla mediante su observación, descripción y cuantificación, todas las cualidades en las que la percepción solamente puede ser evaluada mediante la verbalización o por imitación están sujetas a una interpretación errónea debido a su dependencia del desarrollo del lenguaje y de la capacidad mental, así como de la motivación. Al mismo tiempo, una función involucra necesariamente el uso de otras [105, 106, 205].

Durante la realización de las pruebas resulta fundamental llevar a cabo un abordaje específico del niño en función de su edad, tener en cuenta su estado conductual y la influencia de factores como el miedo, la fatiga, la digestión y el cansancio, así como el período del año o las circunstancias particulares que puedan influir sobre el rendimiento. Son también factores condicionantes para el niño el tener que desvestirse o tumbarse en una camilla, el ambiente de la sala, la presencia o ausencia de los padres y la actitud del examinador, además de que el procedimiento del examen sea un juego cuando resulte posible [205]. Respecto a los protocolos empleados, existen numerosos tests y baterías para la evaluación neuropsicológica infantil, como el Test Discriminativo Neurológico Rápido (QNST), una prueba de

“*screening*” útil para identificar posibles manifestaciones de DCM, y la Evaluación Neurológica Infantil (ENI) [206, 207]. Entre las baterías de pruebas más frecuentemente utilizadas en España en niños de 3 a 6 años se encuentran la Batería Luria Inicial, las escala de Wechsler WPPSI, las Escalas McCarthy de Aptitudes y Psicomotricidad (MSCA) y el Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Infantil (CUMANIN), cuyas características se desarrollan en el siguiente epígrafe por ser el utilizado en este trabajo [111, 208-210]. Si mediante estas pruebas se sospecha la existencia de un trastorno orgánico cerebral, es necesario remitir al niño para su valoración neurológica y, en algunas ocasiones, también puede requerirse la realización de otras exploraciones como estudios oftalmológicos o audiométricos [106].

3.4.3. EL CUESTIONARIO DE MADUREZ NEUROPSICOLÓGICA INFANTIL (CUMANIN)

El CUMANIN es una prueba de evaluación neuropsicológica de aplicación individual, que permite valorar el desarrollo neuromadurativo en niños de 36 a 78 meses en relación a su edad cronológica, para identificar signos neurológicos menores [112]. Sus autores consideraron de gran interés la posibilidad de realizar un diagnóstico neuropsicológico en la edad preescolar, por la activa plasticidad cerebral durante esta etapa, con la finalidad de poder identificar, prevenir y tratar futuras discapacidades de aprendizaje. El CUMANIN nació como un instrumento que permite identificar el grado de madurez neuropsicológica de cada niño, es decir, el nivel de organización y desarrollo madurativo que permite el despliegue de las funciones cognitivas y comportamentales, así como aquellos casos que presenten signos de disfunción o lesión cerebral, para diseñar programas específicos de tratamiento que permitan mejorar sus capacidades. La posibilidad de aplicar el CUMANIN durante toda la edad preescolar facilita la valoración del proceso de maduración a lo largo del tiempo, mediante evaluaciones periódicas, e igualmente puede utilizarse como línea de base para realizar programas de rehabilitación y desarrollo neuropsicológico y valorar sus resultados [111]. Por ello, es una prueba de referencia para la valoración infantil y se ha recomendado su utilización como test de “*screening*”. Desde la problemática de la DCM, que atañe a todos los ámbitos de desarrollo del niño, el CUMANIN puede utilizarse en los ámbitos educativo, psicológico, médico y otros afines, incluyendo los servicios de rehabilitación infantil [105, 111, 211].

La prueba tiene una duración variable, de 30 a 50 minutos y debe ser aplicada por profesionales con un bagaje amplio de conocimientos de fundamentos neurobiológicos y/o neuropsicológicos, para poder relacionar los resultados obtenidos con los procesos cerebrales subyacentes. Consta de ocho escalas principales, con pruebas de dificultad creciente, que se describen a continuación [111].

- La Escala de Psicomotricidad consta de once pruebas de siete tareas diferentes: caminar a la pata coja, tocar la nariz con el dedo, indicar los dedos de la mano que son estimulados, caminar en línea, saltar con los pies juntos y caer en el mismo sitio, mantenerse en cuclillas con los brazos en cruz y tocar con el pulgar todos los dedos de la mano.

- La Escala de Lenguaje articulatorio consiste repetir de una en una 15 palabras de dificultad articulatoria creciente, desde *Rosa* a *Transparente* o *Influencia*.

- En la Escala de Lenguaje Expresivo se solicita al niño que repita de una en una cuatro frases, cada una de mayor complejidad sintáctica, desde *En la frutería venden peras verdes* a *El jardinero plantó rosas blancas y amarillas*.

- La Escala de Lenguaje Comprensivo comprende la lectura de un texto sencillo al niño, en forma de historia, y el planteamiento de nueve preguntas sobre su contenido.

- En la Escala de Estructuración Espacial se agrupan quince tareas que deben ser ejecutadas con respuestas psicomotoras y grafomotoras, de dificultad creciente.

- La Escala de Visopercepción consiste en la reproducción de 15 modelos geométricos: líneas rectas, cruz, círculo, cuadrado, triángulo, figuras tangentes y superpuestas, entre otras.

- En la Escala de Memoria Icónica se le pide al niño que mire atentamente durante 1 minuto una lámina con dibujos sencillos que representan figuras y que luego los enumere.

- Para completar la Escala de Ritmo, el niño tiene que repetir tras el examinador 7 series rítmicas de dificultad progresiva, golpeando con un lapicero el borde de la mesa.

Las cinco escalas adicionales no forman parte del conjunto destinado a medir el desarrollo neuropsicológico sino que se evalúan de forma independiente. Las Escalas de Lenguaje Escrito, Lectura y Escritura se aplican solamente a partir de los 60 meses y no han sido utilizadas en este trabajo. Sí han sido utilizadas las otras dos escalas:

- La Escala de Atención se basa en la capacidad del niño para discriminar en una hoja llena de diferentes figuras geométricas aquéllas que son iguales al modelo y tachar el máximo número de ellas en un tiempo de 30 segundos.

- En la Escala de Fluidez Verbal se solicita al niño la elaboración de cuatro frases con sentido que contengan la palabra o la pareja de palabras dadas por el examinador.

Los resultados que se obtienen se expresan en centiles, que resultan de comparar el valor total de la prueba para cada niño con los resultados obtenidos por su grupo de edad en la validación del instrumento. De este modo, resultan unas puntuaciones centiles para cada escala y para las agrupaciones de las mismas, correspondientes al Desarrollo Verbal, al Desarrollo No Verbal y al Desarrollo Total. La puntuación total también se puede convertir mediante el mismo procedimiento en un índice de desarrollo, denominado Cociente de Desarrollo. Los autores del test señalaron que, en general, por debajo del centil 20 en todas o la mayoría de las escalas se recomienda derivar hacia una exploración neuropsicológica más específica, por la posible existencia de daño o disfunción del SNC, mientras que con centiles de 20 a 40 en la mayoría de las escalas recomiendan observación y evaluaciones periódicas cada 6 meses y un estudio más pormenorizado si persistiese el rendimiento muy por debajo de la media. También consideran apropiado el entrenamiento neuropsicológico para cualquier niño que haya obtenido puntuaciones inferiores a la media en una o varias escalas, para potenciar dicha función o funciones aprovechando la gran plasticidad del cerebro infantil [111].

El CUMANIN también define otra variable de gran importancia para la comprensión de la organización cerebral, la lateralidad o dominancia, es decir, la demostración de una preferencia para realizar una tarea con el lado derecho o izquierdo, expresión de la lateralización cerebral [124, 125, 212]. Durante las distintas pruebas del CUMANIN se recoge el MI o el MS utilizado para la realización de las actividades y al final del test se añaden lanzamientos de pelota y la identificación de figuras a través de un visor (Figura 10) para definir la lateralidad en mano, pie y ojo [111].

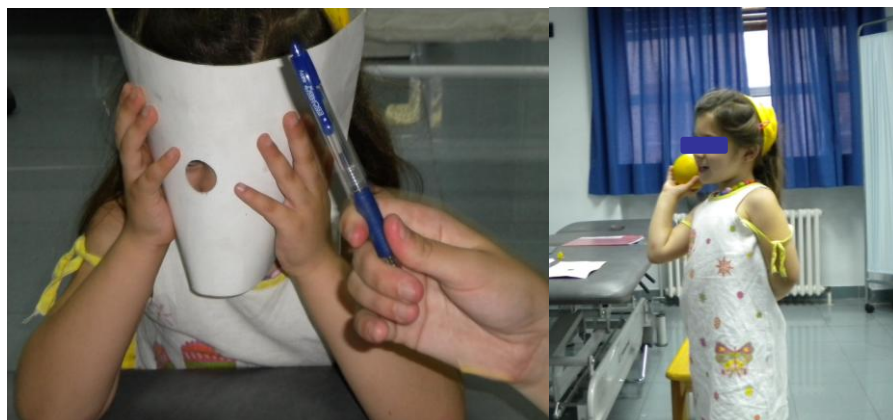


Figura 10: Pruebas de lateralidad visual y manual del CUMANIN.

La validación del Cuestionario en España y su adaptación a la población de Perú permitieron concluir que este instrumento resulta un test válido y fiable para la evaluación del constructo unidimensional del desarrollo neuropsicológico en niños sin alteraciones evidentes [111, 211]. El CUMANIN ha sido utilizado también en niños con bajo peso al nacer y con dificultades escolares o con patologías como síndrome de Down o diabetes, confirmando sus positivas cualidades como herramienta neuropsicológica en la edad preescolar [111, 112, 204, 212].

4. LA MARCHA DE PUNTILLAS IDIOPÁTICA

4.1. DEFINICIÓN, PREVALENCIA Y ETIOPATOGENIA

Los andadores de puntillas son aquellos niños que habitualmente caminan sin apoyar el talón en la fase inicial del apoyo del pie. En lugar de esto, contactan con el suelo con la punta del pie o con toda la planta, aunque son capaces de realizar una marcha con apoyo de talón cuando se les indica o se concentran en su marcha (Figura 11) y pueden permanecer en bipedestación con los dos pies completamente apoyados [213-216]. La marcha de puntillas parece ser un patrón de marcha modificable voluntariamente siempre que no haya una retracción importante del complejo músculo-tendinoso gastrosóleo, pero que se dispara con la influencia de factores emocionales y con el aumento de la velocidad [14, 30, 217, 218].



Figura 11: Patrón de marcha típico en AP, espontáneo y cuando se pide el apoyo del talón.

4.1.1. PREVALENCIA

No se ha encontrado ningún dato sobre la prevalencia de la marcha de puntillas idiopática en nuestro país. En otros países sí se han aportado algunos datos, por ejemplo, en Estados Unidos en 1992 se estimó una prevalencia del 19% entre los niños y niñas de 2 a 6 años que se evaluaban en las consultas rutinarias de pediatría; en Alemania, en el año 2008, se situó en el 5,2% y, recientemente, en Holanda se ha descrito una prevalencia del 12% [7, 219, 220]. Además, algunos autores estiman que la prevalencia podría ser aún mayor, ya que el niño realiza compensaciones que pueden originar que la marcha de puntillas sea poco evidente y por tanto pase desapercibida [217, 220, 221]. Se presenta en los dos sexos pero parece que es más frecuente en niños que en niñas, en una proporción que oscila entre el 50 y

el 80% en la mayor parte de los trabajos revisados [216, 218, 222-224]; ante la ausencia de datos concluyentes se requiere un trabajo epidemiológico adecuadamente diseñado para valorar su verdadera prevalencia [7, 16, 225, 226]. Respecto a su importancia clínica, no ha sido reflejada en España mientras que en Reino Unido representa el 1% de las nuevas consultas de ortopedia de un Hospital General [216].

Para evaluar la aparición y evolución de esta alteración se ha de considerar que el comienzo de la marcha en el niño es un proceso dinámico y que, al principio, el niño camina con los pies muy separados y puede hacerlo de puntillas al llevar el tronco y la pelvis hacia adelante [31, 227]. Por este motivo, la mayor parte de los autores consideran normal que un niño camine así durante los 2-3 primeros meses tras el inicio de la marcha [30, 31, 216, 222, 227, 228]. Sin embargo, para otros la aceptación de este patrón en las etapas precoces de la deambulación permanece dudosa y podría explicarse con un contacto inicial por el antepié seguido de un apoyo retrógrado del talón, en el patrón denominado “de dedos a talón” [28, 30, 31, 225, 227]. La acentuación y el mantenimiento de la marcha de puntillas se ha relacionado con la velocidad de marcha y, de forma incierta, con el uso del tacatá y con la deambulación precoz agarrado a las manos de la madre [30, 216, 222, 227]. A los 2 años la marcha del niño ha de contener ya los parámetros iniciales de madurez del patrón, entre los que se encuentra el contacto inicial del pie con el suelo a través del talón, que suele aparecer de forma clara a los 18 meses de edad [31, 54, 227]. Si se realiza una marcha de puntillas en las primeras etapas ésta es rápidamente reemplazada por el choque de talón y debería resultar una fase transitoria del desarrollo normal de la misma, con frecuente influencia familiar [215-217, 226, 229]. En el caso de que la tendencia a caminar con las puntas de los pies continúe después de los 3 años, se califica como anormal en todos los casos y el niño habrá de ser evaluado cuidadosamente, pues el retraso o la ausencia del choque de talón puede deberse a problemas biomecánicos, neurológicos o combinados, ya que a esta edad debería existir el control sobre la musculatura del tobillo propio de una marcha madura [13, 31, 54, 227, 230].

4.1.2. ETIOPATOGENIA

Aunque varios estudios sostienen que en algunos casos la marcha de puntillas idiopática es una condición autolimitada con mejoría en la adultez, debido a las compensaciones realizadas, su asociación con otras patologías del desarrollo ha sido reflejada en diversos trabajos [217, 218, 223, 224, 230, 231]. Cuando el patrón se mantiene en un niño debe haber sospecha de una etiología neuromuscular o neurológica subyacente [216, 224, 228, 230-232] o de un problema del desarrollo [219, 233, 234].

Se ha referido la relación entre la marcha de puntillas idiopática y variados FR durante la gestación, el parto y el período perinatal [216, 222, 233]. Esta relación, junto con la historia familiar positiva en el 10-88% de los niños, sugiere un origen común en el SNC en el que se combinan factores genéticos y externos [7, 138]. Asimismo, en varios trabajos sobre AP se ha encontrado una importante proporción de niños prematuros [216, 219, 222, 233, 235, 236], cuyo frecuente retraso en el desarrollo neuromadurativo y su mayor prevalencia de alteraciones neuro-sensoriales podrían orientar hacia la DCM como origen de la marcha de puntillas idiopática [237, 238]. Por otro lado, este patrón de marcha se ha asociado con el retraso o las alteraciones del desarrollo psicomotor, los problemas cognitivos y emotivos-comportamentales [138, 219, 226, 233, 236] y este tipo de marcha se encuentra también en niños con disfunción vestibular y patologías psiquiátricas, trastornos del espectro autista y alteraciones cognitivas severas, en los que podría formar parte de un patrón de movimiento estereotipado, sin relación con el mundo exterior sino fijado en una fase primitiva del desarrollo [239-243].

La marcha de puntillas idiopática se considera un diagnóstico de exclusión de patologías neurológicas y ortopédicas, descartables mediante las exploraciones convencionales [216, 217, 226, 233, 235]. En el ámbito de la neurología se han de excluir patologías como la PCI (la más común), miopatías, neuropatías, disrafismo espinal y trastornos del desarrollo como el autismo [231, 234]. Puede ser especialmente difícil distinguirla de la diplejía espástica leve y de las enfermedades neuromusculares. Sin embargo, los niños con diplejía comienzan a caminar a una edad tardía mientras que los AP lo hacen a la edad habitual y en los niños con enfermedades neuromusculares se produce un comienzo tardío del patrón de marcha de puntillas, mientras que los AP caminan así desde el inicio de la

marcha [215, 221, 231, 233, 235]. La exploración ortopédica debe descartar la retracción del tríceps, además de evaluar la posible presencia de masas o alteraciones vasculares, sobre todo si la afectación es unilateral [216, 226, 244].

4.2. CARACTERÍSTICAS BIOMECÁNICAS Y NEUROMADURATIVAS

La marcha de puntillas se denomina idiopática sólo cuando se trata de un patrón simétrico y desde el inicio de la marcha y han sido excluidos otros posibles diagnósticos [216, 217, 230, 231, 234, 245]. Para calificar un niño como AP o bien derivarlo a un especialista, se ha publicado recientemente una herramienta clínica válida y fiable: la “*Toe Walking Tool*”, que recoge datos demográficos, del desarrollo neuromotor, ortopédicos y algunas informaciones clave sobre posibles orígenes neuromusculares o neurogénicos [246]. En general, en la valoración de los AP se ha recomendado el examen clínico y neurológico, junto con estudios electromiográficos y cinemáticos del patrón de marcha [217, 230, 231, 233, 236].

4.2.1. ANÁLISIS ORTOPÉDICO

La primera definición de esta alteración se centró en la retracción, posiblemente congénita, de la musculatura gastrosólea [235], pero no resulta habitual encontrar contractura o retracción aquilea al nacimiento [216, 247], sino que los AP frecuentemente tienen sólo una ligera limitación en la FD y el rango de FD pasiva excede la cantidad que usan durante la deambulación, lo que limita su importancia en la génesis del patrón [14, 223, 233, 234, 248]. Varios estudios han hipotetizado que la retracción no es una entidad o causa en sí misma sino una consecuencia de un patrón de marcha alterado desde el inicio [222, 224, 229, 231, 234], tras la observación de niños que caminan de puntillas sin tener ninguna retracción o ser ésta ligera y también de otros que vuelven a caminar con las puntas de los pies a pesar de haber recibido tratamiento ortopédico o quirúrgico y haber obtenido una movilidad normal de tobillo [216, 218, 221, 224, 226, 233]. Esta hipótesis no ha sido demostrada aún, aunque la avala el hallazgo de una moderada relación negativa entre la edad y los grados de FD del tobillo en niños que no habían recibido tratamiento y de que los sujetos que habían caminado

de puntillas tenían tres veces más posibilidades de tener una limitación en la FD activa del tobillo [7, 220, 233].

Considerando esta asociación positiva con el equino, la valoración de la movilidad del tobillo es una prueba muy utilizada en los AP [220, 233]. Algunos autores han indicado que conviene medir la FD pasiva máxima en posición de extensión y de flexión de la rodilla, pues una diferencia superior a los 15° señala una espasticidad de los gemelos, mientras que un valor inferior a los 5° se traduce en una retracción del complejo gastro-sóleo [136-138, 231]. En función de los grados de FD que presentan, los AP se pueden clasificar en dos grupos: los que tienen una FD limitada y los que no la tienen o, con otra denominación, los AP habituales y los que presentan un acortamiento tendo-calcáneo [138, 234].

Además de las posibles consecuencias sobre la movilidad del tobillo, la adaptación del niño a un patrón de movimiento anómalo produce alteraciones ortopédicas que llegan a limitar la movilidad de las caderas y la pelvis [218, 221, 229, 231, 236]. Aunque no es frecuente encontrar una retracción de los isquiotibiales en AP, es conveniente realizar la prueba de extensión pasiva de la rodilla o ángulo poplíteo [134, 135, 231]. Se han de descartar también las alteraciones unilaterales, como las que pueden resultar de una dismetría, de una alteración vascular o tumoral, o bien otras limitaciones de la movilidad secundarias a un trastorno ortopédico en el miembro evaluado o en el contralateral [249-251].

Las compensaciones por la marcha de puntillas prolongada pueden incluir el desarrollo de un retropié valgo, una torsión tibial externa y una marcha en abducción (Figura 12) [221, 252]. Son frecuentes las limitaciones en la movilidad, los problemas con el calzado, el dolor y los calambres musculares nocturnos, así como las caídas por la inestabilidad y el pobre equilibrio, ya que la marcha de puntillas impide la normal configuración en trípode del pie [216, 223, 229-231]. Asimismo, estos síntomas afectan al desarrollo global del niño, lo que puede condicionar el retraso en otros ámbitos de su vida (afectivos, sociales, etc.) en una etapa de importante evolución psicomotora [230, 231, 253]. A pesar de estas posibles consecuencias, la marcha de puntillas idiopática generalmente se considera una alteración funcional con escasa relevancia [13, 31, 230]. Esta circunstancia puede ocasionar un retraso en la identificación de la alteración y la consulta médica, que se produce cuando se perciben limitaciones importantes de la movilidad, trastornos evidentes de la marcha o caídas frecuentes [216, 218, 223, 230, 231, 236]. Se retrasa así la posible intervención precoz que

aproveche la mayor plasticidad del niño pequeño para la reeducación del patrón, además de limitar las posibilidades terapéuticas debido a la progresiva estructuración de las alteraciones [111, 112, 216, 233].



Figura 12: Detalle posterior de la marcha de un AP, en el que se observan los mecanismos posiblemente relacionados con la pronación del pie y la torsión tibial externa frecuentes en estos niños.

4.2.2. CARACTERÍSTICAS CINÉTICAS Y CINEMÁTICAS

La observación visual de marcha, directa o mediante registros de vídeo, es el medio de evaluación más empleado en AP [216, 222, 223, 226, 233, 236], pero el análisis instrumental facilita su valoración al permitir detectar alteraciones difícilmente detectables mediante la observación [218, 231, 254]. Los niveles actuales de evidencia sitúan en el nivel C de recomendación a esta herramienta en los AP [213], la cual se ha utilizado ampliamente para analizar su patrón de marcha [13, 15, 134, 135, 214, 232] y evaluar la efectividad de los diferentes tratamientos propuestos [218, 255-258]. No se ha encontrado ninguna referencia en la literatura sobre la utilización de la baropodometría para la evaluación de los AP, excepto la realizada por nuestro grupo de trabajo [192, 193, 259, 260].

El patrón cinemático de los AP muestra unas características específicas que se conservan hasta la edad adulta a pesar del tratamiento, aunque la marcha se acerca más a los parámetros habituales por las compensaciones producidas [218, 221, 236]. Incluso cuando logran de forma espontánea un apoyo inicial con el talón, hito que no siempre consiguen, los AP presentan un despegue prematuro del talón, la inversión del segundo rodillo y un relativo acortamiento de la fase de respuesta a la carga, pues pueden verse afectados los tres rodillos

del tobillo y el pie en función de la severidad del patrón (Figura 13) [13, 15, 261]. Los AP suelen presentar también una hiperextensión de rodilla y un incremento en la rotación externa del pie junto con la limitación en la FD del tobillo durante el apoyo, lo que podría explicar las compensaciones estáticas y dinámicas observadas cuando los niños crecen [13, 218, 221, 254]. La flexión plantar mantenida durante la fase de balanceo puede generar en los AP un patrón de “*vaulting*” o circunducción del MI similar al de los niños con PCI para evitar el choque de los dedos con el suelo y el apoyo inicial con la punta, pero los AP muestran una mayor plantarflexión de la normal durante las fases de apoyo y balanceo y un patrón variable, a diferencia de los niños con PCI [221, 254]. En cuanto a las posibles consecuencias de este patrón, la marcha de puntillas produce una reducción en la capacidad de generar fuerza de los tríceps surales y algunas alteraciones en los segmentos superiores ya desde edades tempranas, que generan la pérdida de eficiencia energética debido a las activaciones musculares excesivas y al incremento de las acciones destinadas a mantener el equilibrio en unas condiciones mecánicas poco favorables [26, 262, 263].

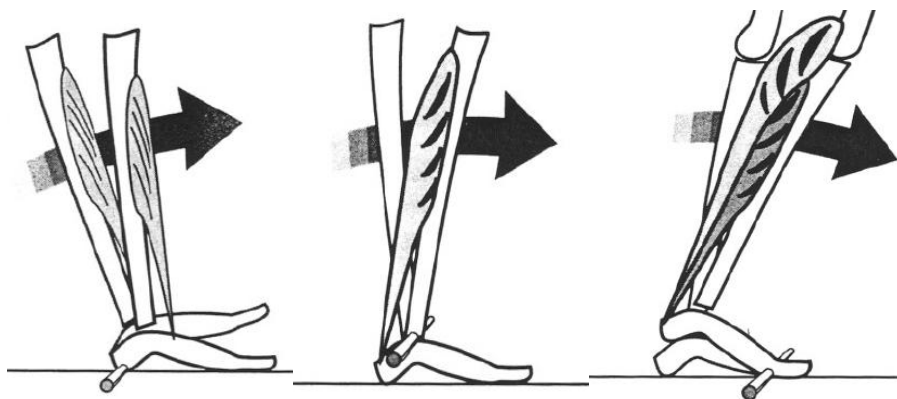


Figura 13: Primer, segundo y tercer rodillo del tobillo y el pie durante la fase de apoyo de la marcha, que corresponden, respectivamente, al contacto con el talón, el avance de la pierna sobre el astrágalo y el despegue mediante el antepié. Fuente: Perry [27].

A partir del conocimiento de estas características, entre otras, Armand y cols. han elaborado un sistema de clasificación para todos los niños que caminan de puntillas, independientemente de la causa, sin resultados concretos ni fiables para los AP [264, 265]. Con el fin de sugerir la opción terapéutica más adecuada, Alvarez y cols. diseñaron una clasificación específica para los AP, empleada posteriormente por otros autores [13, 256, 261].

4.2.3. ACTIVIDAD MUSCULAR

La electromiografía durante la marcha ha sido utilizada para caracterizar el patrón de marcha de los AP [266], pero sobre todo para intentar hallar sus diferencias con el de los niños con PCI y los niños sin alteraciones caminando de puntillas, en lo cual se han obtenido resultados contradictorios. El patrón electromiográfico de los AP implica un inicio prematuro de la actividad del gastrocnemio en el final de la fase de balanceo, que retrasa o inhibe la actividad del tibial anterior, y un exceso de actividad del gastrocnemio y del tibial anterior durante el apoyo [257]. Este patrón permite diferenciarlos de los niños sin alteraciones incluso cuando realizan de forma espontánea una marcha con apoyo inicial del talón, pues aún con un patrón aparentemente fisiológico los AP mantienen la anticipación y el incremento de la actividad electromiográfica normalmente observada en el tríceps sural durante la primera mitad de la fase de apoyo, característicos de la marcha de puntillas [15, 258]. No obstante, cuando se comparó la actividad electromiográfica de un grupo de AP con un grupo de niños con un desarrollo normal a los que se les pidió que caminasen de puntillas, los dos grupos presentaron respuestas similares, aunque cuando Kalen y cols. compararon estos dos grupos con un tercero de niños con PCI, encontraron que los hallazgos de los AP se parecían más a los de los niños con PCI que a los del grupo control. Como las diferencias entre los tres grupos no resultaban muy claras, estos autores sugirieron que el análisis electromiográfico durante la marcha podría no ser un medio adecuado de diagnóstico de los AP [254, 258, 267].

Dada la controversia existente y motivados por sus propios hallazgos de similitudes electromiográficas entre la actividad muscular de los AP y los niños con PCI, otros autores propusieron para diferenciarlos varias pruebas que solicitasen el control selectivo del cuádriceps, que no había mostrado diferencias durante la marcha (Figura 14). Sus resultados sugirieron que los patrones electromiográficos de activación del cuádriceps y los gemelos durante la extensión de la rodilla junto con la FD voluntaria del tobillo podrían ayudar a diferenciar los pacientes con diplejía leve de los AP, pues en los primeros se produce una gran coactivación que los diferencia de los segundos [134, 135]. Brouwer y cols. también consideraron la necesidad de evaluar en estos dos grupos de niños la función neuromuscular, por medio de la valoración de la actividad electromiográfica y de los momentos de fuerza que desarrollaban en decúbito supino, con el tobillo en diversas posiciones, en actividades de elongación y de empuje activo en plantarflexión. Obtuvieron que los niños con PCI mostraban umbrales de estiramiento más bajos y eran capaces de generar menores fuerzas isométricas de

plantarflexión que los AP, a expensas de unos ratios de cocontracción entre el tibial anterior y el sóleo significativamente más elevados [225].

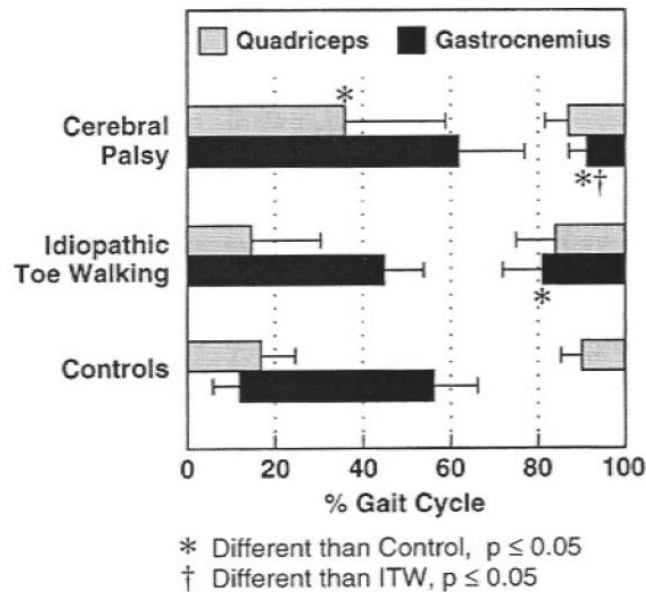


Figura 14: Comparación de la actividad muscular de cuádriceps y gemelos durante la marcha en AP, niños con PCI y sin alteraciones, que mostró diferencias significativas en la activación del cuádriceps entre los niños con PCI y los del grupo control y en la activación de los gemelos de los niños con PCI y los AP con los del grupo control y también entre ellos. Fuente: Policy y cols. [135].

La sobreutilización muscular del tríceps sural presente en los AP podría explicar, según algunos autores, los cambios histológicos hallados en este músculo, que parecen apoyar la existencia de un proceso neuropático. Un estudio histológico ha encontrado una predominancia de las fibras musculares tipo I en la biopsias del gastrocnemio de un grupo de AP junto con fibras atróficas angulares, adelgazamiento de las membranas basales, adelgazamiento capilar y fibras en proceso de degeneración y regeneración, cambios similares a los vistos en los pies equinovaros congénitos [228].

4.2.4. DESARROLLO NEUROMADURATIVO

A pesar de que las pruebas cuantitativas se han mostrado poco fiables para la evaluación de los AP, la aplicación de escalas y valoraciones específicas resulta fundamental para realizar el diagnóstico diferencial con las entidades patológicas que cursan con marcha de puntillas [7, 216, 268, 269]. Ante la poca sensibilidad de las pruebas neurológicas convencionales para detectar las alteraciones funcionales del SNC, demostrada en AP [236, 270], han de evaluarse en estos niños la motricidad y el resto de funciones superiores desde un

punto de vista cualitativo y no cuantitativo, para detectar las pequeñas alteraciones en el tono muscular, las praxias, la marcha y el equilibrio que, entre otras, presentan estos niños [217, 234]. No obstante, sólo se ha encontrado una valoración específica de las funciones corticales superiores en los escasos trabajos sobre AP que estudian estos aspectos de forma explícita [16, 219, 233, 271], si bien en otros estudios los padres han referido síntomas de “*dispraxia*” o problemas de aprendizaje en algunos niños [216, 267].

A pesar de la ausencia de valoraciones específicas, se especula con la posibilidad de que la marcha de puntillas idiopática sea una expresión motora de una DCM [138, 217, 231, 233, 267], además de que algunos estudios han relacionado esta marcha con alteraciones del desarrollo motor [138, 226, 233, 272], del aprendizaje [266, 267, 272], visuoperceptivas y del lenguaje [219, 233, 271] y disfunciones sensoriales, auditivas y/o gestuales [233, 236, 240, 243]. Accardo y Whitman concluyeron, a partir del estudio de 779 niños con varios déficits, que la valoración de la existencia de marcha de puntillas era un método simple, directo y económico de “*screening*” de las alteraciones del desarrollo [271]. Posteriormente, en una valoración de 163 niños que acudieron a las consultas pediátricas de un ambulatorio, Accardo y cols. demostraron un valor medio inferior en las pruebas de lenguaje en los AP con respecto a los niños sin marcha de puntillas, de forma más acentuada en la edad preescolar. Aunque no consideraron la asociación como clínicamente significativa, sugirieron la necesidad de evaluar la progresión del equino y el lenguaje en los AP [219]. Shulman y cols. llevaron a cabo en 1997 una evaluación multidisciplinar de un grupo de 13 AP con una media de edad de 3,9 años y hallaron en ellos una elevada frecuencia de problemas atencionales y de hiper o hipoactividad, errores en la articulación y organización del lenguaje, déficits en el control motor fino y grueso y visuomotores. Ante el retraso en múltiples áreas, los autores concluyeron que estaría indicada una valoración del desarrollo en los AP [233].

En el momento actual la marcha de puntillas se identifica como un marcador que señala la necesidad de una valoración exhaustiva de los problemas del neurodesarrollo, pues su asociación con retrasos en el desarrollo de varias áreas sugiere que puede ser sólo otra manifestación de una alteración más global del mismo [233, 234, 236, 272]. En este sentido, las características propias que muestran los AP han propiciado que se haya propuesto definir la marcha de puntillas idiopática como síndrome, en cuanto a que expresa un retardo de la adquisición y la maduración neuromotriz que se perpetúa con una retracción secundaria del

tríceps sural [236]. Recientemente se ha propuesto que este patrón podría corresponder en algunos casos a una variante de “disonía focal transitoria infantil” y se ha planteado, a partir de una exhaustiva revisión, la relación de la marcha de puntillas idiopática con la disfunción del procesamiento sensorial, que se define como una alteración en *“el proceso neurológico que organiza la sensación del propio cuerpo y del entorno y hace posible utilizar el cuerpo de manera efectiva en el mundo”* [7, 245].

4.3. TRATAMIENTOS Y EFECTIVIDAD

En general, se considera que los AP con valores de FD del tobillo con la rodilla extendida superiores a los 10° pueden evolucionar espontáneamente [236] y el tratamiento convencional de los AP está enfocado a aumentar la FD del tobillo para mejorar así la marcha [216, 217]. Sin embargo, no se han demostrado la efectividad de las distintas modalidades de tratamiento sobre las alteraciones en la marcha y el equilibrio ni, en el caso de no recibir tratamiento, las repercusiones resultantes de la adaptación del niño a un patrón de movimiento anómalo [213, 218, 223, 224, 226, 230]. La consideración de la marcha de puntillas idiopática como manifestación de una alteración del desarrollo neuromadurativo y la aplicación en los AP de diversas estrategias terapéuticas utilizadas en otras patologías neurológicas y ortopédicas, han motivado en los últimos años la propuesta de nuevas opciones de tratamiento que no han mostrado aún evidencia científica [14, 16, 193, 241, 257, 260].

4.3.1. FÉRULAS COMBINADAS CON EJERCICIOS

En el abordaje terapéutico de la marcha de puntillas idiopática se reconoce un lugar para los métodos conservadores, sobre todo en los niños más pequeños, y en ellos se han recomendado las férulas seriadas como tratamiento inicial óptimo, con mejores resultados cuanto más tiempo se utilicen [225, 230, 248, 258, 267, 273]. Se ha documentado su efecto beneficioso a corto plazo sobre la movilidad en FD del tobillo y la activación neuromuscular, aunque los beneficios sobre el patrón electromiográfico del tríceps y el tibial anterior no se producen en todos los casos y algunos autores han encontrado limitaciones en el efecto positivo sobre la movilidad del tobillo y el patrón de marcha [216, 225, 258]. Las férulas nocturnas o de marcha, generalmente utilizadas en combinación con ejercicios activos, se han

mostrado también de eficacia limitada, pues algunos estudios no han encontrado resultados favorables o han valorado la mejoría sólo a corto plazo [224-226, 236] y otros trabajos han demostrado que los beneficios no se mantienen en el tiempo y hay recurrencia del patrón de marcha de puntillas [216, 223, 224, 248, 258, 274].

4.3.2. ALARGAMIENTO QUIRÚRGICO

La cirugía de alargamiento, ya sea tenotomía percutánea o a cielo abierto o aponeurotomía de los gemelos, habitualmente seguida de tratamiento ortopédico, ha logrado mejores resultados que el tratamiento conservador en cuanto al incremento de la FD del tobillo, la satisfacción de los padres y la mejoría del patrón de marcha, mantenidos en el tiempo [215, 224, 226, 235, 236, 255]. Por ello, algunos autores señalan la capacidad de la cirugía para lograr la función normal con el menor impacto sobre el niño y la familia, en contraposición con las férulas seriadas, y recomiendan el alargamiento percutáneo del tendón de Aquiles como primera opción, seguido de férulas para caminar durante cuatro semanas [215]. Sin embargo, las indicaciones y los procedimientos quirúrgicos han adecuarse al tipo de retracción presente en cada niño, pues se ha referido que la liberación de los gemelos puede ser preferible al alargamiento tendinoso en AP [252, 275, 276].

También conviene considerar que las distintas técnicas quirúrgicas no están exentas de riesgos, ya que pueden originar tendinitis aquílea, sobrealargamiento y debilidad permanente de los flexores plantares, que dificultan la propulsión durante la marcha [215, 231, 255, 266]. El excesivo alargamiento del tríceps puede conducir a una marcha caracterizada por una excesiva FD en la fase de apoyo y una inadecuada generación de impulso que, una vez instaurada, es difícil de corregir y puede conducir a discapacidad progresiva [218]. Debido a estos posibles riesgos, la cirugía se reserva para los casos más severos con importantes retracciones en los flexores plantares y a partir de los 6 u 8 años de edad [217, 223, 226, 231, 234, 273].

Se ha descrito que incluso los adultos con marcha de puntillas idiopática que fueron tratados con cirugía y/o férulas caminan ocasionalmente de puntillas cuando no son observados por otras personas y que aunque haya cierta mejoría los valores de FD permanecen inferiores al rango normal y la marcha no llega a ser normal nunca, pues existen cambios persistentes en la cinemática [218, 223, 224, 275]. Algunos autores sostienen que la

marcha de puntillas puede persistir después de todos los tratamientos locales e incluso en ausencia de una contractura significativa del tríceps sural [226]. Estos datos sugieren que se descarte el origen músculo-esquelético de la marcha de puntillas idiopática y refuerzan la hipótesis de un origen neurogénico, por lo que el alargamiento quirúrgico debiera ser considerado solamente cuando se haya demostrado un equino estructurado, con una retracción músculo-tendinosa [229, 275].

4.3.3. OTROS TRATAMIENTOS

A nivel farmacológico se ha utilizado sin resultados la Amantadina, un antivírico utilizado en el tratamiento del Parkinson, al considerar la posibilidad de una marcha de puntillas distónica [245, 277].

También se han usado para intentar mejorar la posición del pie y el patrón de marcha de los AP zapatos ortopédicos y plantillas, pues frecuentemente se observan en estos niños alteraciones ortopédicas como pies cavos u otras deformidades de los pies [229, 230, 236]. Recientemente se ha propuesto como opción terapéutica la toxina botulínica, combinada con férulas, un programa de ejercicios o fisioterapia, que puede proporcionar la oportunidad para modificar la activación muscular en el tobillo durante la marcha y ha mostrado un efecto de mejoría temporal en el patrón de marcha pero no en todos los casos, si bien los resultados persisten en el caso de continuar el tratamiento con un programa de fisioterapia activa [14, 256, 257, 277].

4.3.4. FISIOTERAPIA

La cinesiterapia ha tenido tradicionalmente un papel relevante en el tratamiento de la limitación de la FD del tobillo de los AP, centrando su intervención en la limitación local sin consideración hacia las posibles compensaciones en otros segmentos [14, 138, 223, 226, 230, 231]. Tachdjian propuso ya en 1972 un programa de cinesiterapia con ejercicios de estiramiento pasivos de los plantarflexores y férulas nocturnas, yesos seriados o férulas hasta la rodilla para corregir la contractura del tríceps, seguidos de un programa de estiramientos pasivos, ejercicios de potenciación de los dorsiflexores y ejercicios activos de marcha [273]. Sin embargo, los estiramientos no parecen resultar fundamentales en los AP que tienen sólo una ligera limitación en la FD y se tiende a realizar programas de fisioterapia activa de

primera intención o tras la aplicación de férulas y/o toxina botulínica [14, 233, 256, 273]. En el año 2010, Clark y cols. han publicado un protocolo de fisioterapia, a partir de las teorías sobre el control motor y su influencia sobre los factores ortopédicos durante el desarrollo infantil, con el que obtuvieron en un grupo de AP un incremento significativo de la FD del tobillo y una mejoría no significativa en el control motor, pero no lograron la corrección del patrón de marcha en un entorno habitual. Los propios autores destacaron las limitaciones del estudio y señalaron también la posibilidad de que la ausencia de los cambios en la marcha fuera debida a que la etiología subyacente y la propia alteración sean más complejas y variables que lo inicialmente asumido [16].

4.3.5. EL APRENDIZAJE COMO TRATAMIENTO

En nuestro país, no se ha encontrado ninguna referencia al tratamiento realizado en los AP excepto en los trabajos presentados por nuestro grupo, en los cuales se recoge la idoneidad de la actuación interdisciplinar en la que la intervención fisioterápica actúe desde un abordaje global del niño [193, 260, 278]. A pesar de que diversos autores han sugerido la necesidad de un tratamiento enfocado a modificar la actividad neuromotora [14, 226, 231], no se han hallado estudios sobre ningún método de fisioterapia orientado a la reeducación, que permita trabajar las alteraciones estáticas y funcionales desde la inhibición del esquema alterado y el aprendizaje del movimiento normal, a excepción del trabajo de Clark y cols. [6, 16, 195]. Parece posible que de este modo se pudiesen mejorar las alteraciones primarias y secundarias y permitir así al niño la adquisición de los aprendizajes que eviten la recurrencia de la marcha de puntillas y le proporcionen un amplio abanico de posibilidades motrices para un desarrollo psicomotor pleno, mejorando su calidad de vida con un riesgo mínimo [230, 253, 279].

Este abordaje es planteado por métodos como el Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo (Figura 15), que considera el tratamiento como aprendizaje en situación patológica y tiene su origen en la teoría neurocognitiva, la cual considera los procesos cognitivos (memoria, atención, percepción y lenguaje) como elementos básicos para la recuperación motora, por lo que se deben activar para conseguir una mejora del movimiento, que es el medio para conocer el propio cuerpo y el entorno. Con estas premisas se logra una mejoría en la funcionalidad que repercute en todas las áreas del niño, pues se favorece el desarrollo neurocognitivo, base de todos los comportamientos [195, 279]. No se han encontrado publicaciones que valoren la

efectividad de estos nuevos planteamientos en AP, pero los hallazgos de los trabajos que han realizado una evaluación de la percepción sensoriomotora y los procesos de organización en estos niños [16, 219, 233, 271], o sugerido su importancia [7, 234, 259, 260], indican que la fisioterapia podría mejorar en los AP la adquisición de los aprendizajes correspondientes a su edad cronológica [14, 16, 195, 279]. Al mismo tiempo, permitiría prevenir las deformidades, los dolores y las alteraciones de la marcha y del equilibrio que pueden instaurarse y que tienen una peor resolución cuanto mayor es el niño [216, 218, 222, 224, 226].

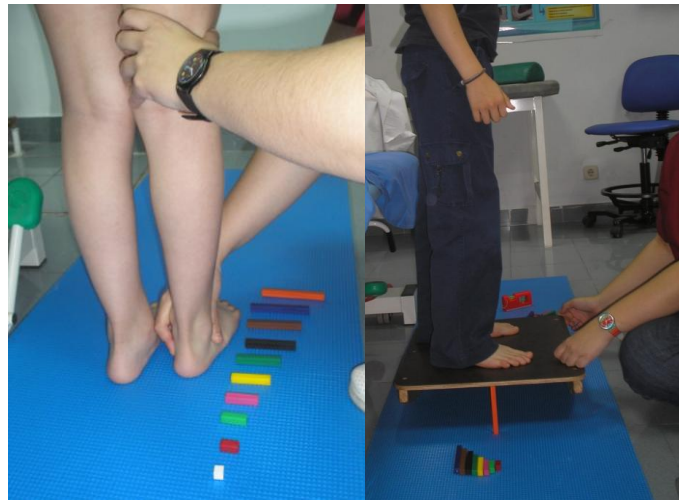


Figura 15: Aplicación del Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo en AP, mediante el planteamiento de situaciones de reconocimiento cinestésico con los ojos cerrados que requieren para su resolución el control del esquema motor alterado.

A pesar de las posibilidades expuestas, para algunos autores no resulta lógico aconsejar tratamiento en una alteración benigna y no debilitante, cuya incidencia e historia natural no son bien comprendidas [14, 213, 217, 226, 230, 231]. Se requiere la realización de trabajos adecuadamente diseñados para valorar las posibles alteraciones de los AP y revisar la historia natural de los que no son tratados [7, 216, 234]. Mientras, puede resultar prematuro proponer un tratamiento de fisioterapia que supone un alto coste económico, con repercusiones en la rutina de niños y padres y que pudiese afectar al autoconcepto del niño [16, 145]. Además, hay que tener en cuenta que los niveles actuales de evidencia se sitúan en el nivel C de recomendación para la observación, al mismo nivel que las férulas seriadas y la cirugía si se considera su efectividad para disminuir la frecuencia de la marcha de puntillas en el seguimiento [213]. Parecía prioritario por ello el realizar un estudio que permitiese conocer las características diferenciales de los AP en las primeras fases del desarrollo en las que este patrón se considera ya patológico, para establecer unos criterios de valoración clínica, biomecánica y neuromadurativa que pudiesen resultar útiles como indicadores del estado y la

progresión de los diversos parámetros y la posible conveniencia de una intervención en un momento dado, así como de su eficacia. La introducción de la baropodometría como herramienta objetiva de valoración de la marcha supone una aportación inédita en AP, mientras que la evaluación neuromadurativa, ya reflejada en otros trabajos, ha sido recientemente indicada para obtener una mejor comprensión de esta alteración y orientar eficazmente su abordaje terapéutico [7, 219, 233, 272].

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

5. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

5.1. HIPÓTESIS

Los andadores de puntillas de entre 3 y 6 años presentan características clínicas, baropodométricas y neuromadurativas diferenciales con respecto a los niños sin alteraciones del pie, la marcha o el desarrollo de la misma edad.

5.2. OBJETIVOS

Como objetivos específicos se han propuesto:

- 1) Analizar las características clínicas diferenciales de los andadores de puntillas con respecto a los niños del grupo control.
- 2) Determinar las características neuromadurativas de los andadores de puntillas que resulten diversas a las de los niños del grupo control.
- 3) Establecer las diferencias entre las características baropodométricas de los andadores de puntillas y los niños del grupo control.
- 4) Estudiar los diversos modelos baropodométricos de desarrollo del paso de los andadores de puntillas a partir de su contacto inicial del pie.
- 5) Determinar la relación del patrón de marcha con las variables clínicas y neuromadurativas, proponiendo una posible indicación terapéutica en función de su severidad.

MATERIAL Y MÉTODO

6. MATERIAL Y MÉTODO

6.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

6.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para confirmar esta hipótesis se ha diseñado un estudio descriptivo transversal, que fue aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica (Real Decreto 223/2004, de 6 de febrero) (Anexo 2). Todos niños y niñas elegibles y sus padres o tutores fueron informados previamente de las características del estudio, por escrito y verbalmente, y aceptaron voluntariamente que los niños y niñas formasen parte de él, mediante la firma del documento de consentimiento informado (Anexo 3). También se les indicó la confidencialidad de sus datos (Ley Orgánica 15/99 del 13 de diciembre).

6.1.2. POBLACIÓN DIANA Y PROCESO DE RECLUTAMIENTO

La población diana estuvo compuesta por los niños y niñas con edades comprendidas entre los 3 y 6 años. Los AP fueron derivados de las consultas de la Clínica Universitaria de Podología, del ámbito hospitalario y de Atención Primaria (Pediatría, Traumatología y Neurología, fundamentalmente). También se solicitó la participación de AP mediante un anuncio dirigido a los empleados de Gas Natural Unión Fenosa y al personal de la UCM, a través de su Servicio de Acción Social. Los niños del grupo control se reclutaron principalmente en los colegios Alberto Alcocer y Pablo Picasso. En todos los casos se explicó a los padres las características del estudio y se les ofreció la valoración de sus hijos o hijas, lo que permitió incorporar también a un grupo diagnosticado previamente como AP.

A todos los niños y las niñas que acudieron a la Unidad de Fisioterapia de la Clínica Universitaria de Podología se les realizó una anamnesis y una valoración clínica, para seleccionar la muestra del estudio a partir de los criterios de inclusión y de exclusión. En dicha muestra, se aplicaron los criterios de selección de los grupos para calificar a los niños como AP o incluirlos en el grupo control.

6.1.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

6.1.3.1. Criterios de inclusión:

- ✓ Edades comprendidas entre los 36 y los 83 meses, inclusive.
- ✓ Aceptación de participar en el estudio mediante la firma previa del consentimiento informado por parte del padre, la madre o el tutor o la tutora.
- ✓ Capacidad del niño o de la niña y del padre, madre o tutor para colaborar en el protocolo de valoración.

6.1.3.2. Criterios de exclusión:

- ✓ Diagnóstico de lesión neurológica, síndrome genético, alteración psiquiátrica o del desarrollo.
- ✓ Alteraciones congénitas o adquiridas del aparato locomotor.
- ✓ Equinos de tobillo secundarios a cirugía, traumatismos o infecciones víricas.
- ✓ Alteración unilateral de la marcha.
- ✓ Haber recibido o estar recibiendo tratamiento por la misma alteración.
- ✓ Alteraciones que impidan la comprensión por parte del niño o de la niña de las consignas verbales y/o visuales o que, por cualquier otra circunstancia asociada a su salud, desaconsejen su inclusión.

6.1.3.3 Criterios de selección de los grupos:

- ✓ Grupo de AP: Diagnóstico previo de AP realizado por un pediatra, traumatólogo o neurólogo y demostración a la observación visual por dos examinadores, de forma independiente, de estos tres criterios:
 - Ausencia de una fase evidente de choque de talón durante la marcha espontánea [219].
 - Capacidad de realizar un contacto inicial con el talón durante la marcha ante el requerimiento de los examinadores [213, 214].
 - Posibilidad de apoyar el talón en bipedestación [216].
- ✓ Grupo control: Demostración de un apoyo de talón claro durante la marcha espontánea, ante la observación independiente de dos examinadores [31, 57, 229].

6.1.4. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La selección de la muestra se realizó en dos etapas. De los 151 niños y niñas evaluados durante el período del estudio, en una primera etapa se seleccionaron los 96 niños y niñas que cumplieron los criterios de inclusión y no presentaron ningún criterio de exclusión. En una segunda etapa, se aplicaron los criterios específicos de selección para cada grupo, detallados en el epígrafe anterior (Figura 16).

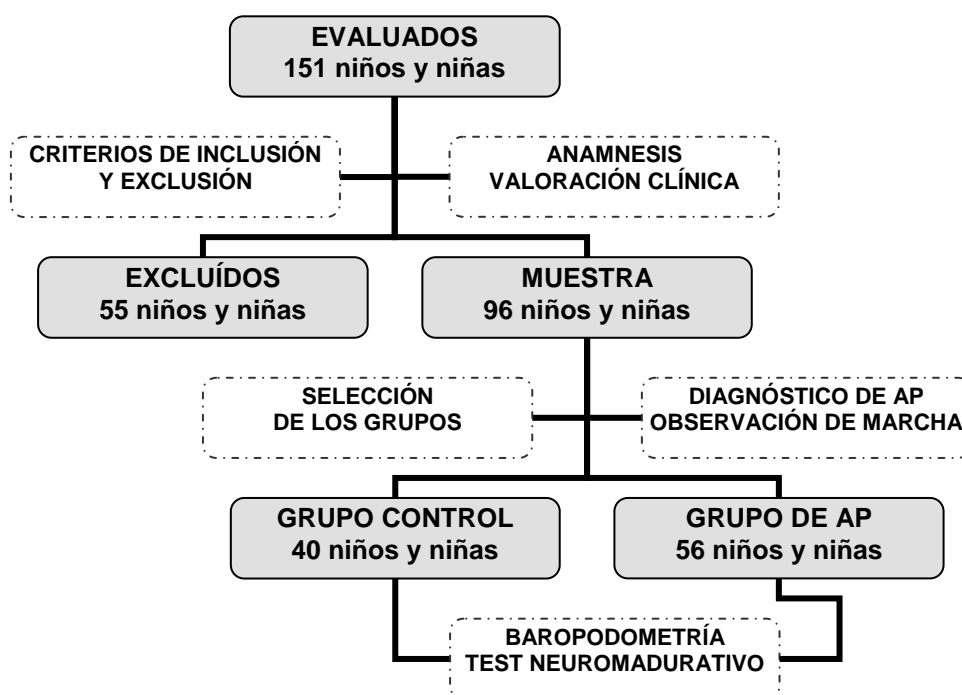


Figura 16: Proceso de selección de la muestra.

Los 55 niños excluidos presentaron alguna de las alteraciones descritas como criterios de exclusión, entre las que se halló la presencia de pies planos valgos [25, 149], marcha en adducción [280, 281] y problemas del desarrollo neuromadurativo como retraso del crecimiento intrauterino o alteraciones cognitivas [108]. Además, se excluyeron aquellos niños que cumplían los criterios de inclusión pero no demostraron durante la marcha espontánea un contacto inicial del pie en el suelo con los criterios de selección de grupo requeridos.

6.1.5. REALIZACIÓN DE LAS VALORACIONES

El período de estudio comprendió desde febrero a julio del 2010. Todas las pruebas que componían la valoración se realizaron el mismo día para cada niño o niña, en franjas horarias adecuadas a la edad y en las instalaciones de la Clínica Universitaria de Podología de la UCM apropiadas para la realización del protocolo, cuya duración osciló entre los 60 y los 90 minutos.

En primer lugar, los padres recibieron la información sobre el estudio y sus características y firmaron el consentimiento informado. La observación inicial de la marcha y la asignación del niño a uno de los dos grupos de estudio la realizaron los dos investigadores de forma independiente y cuando existió concordancia entre los dos observadores los niños y niñas fueron incluidos en el grupo correspondiente. Las distintas etapas de la valoración, se realizaron siempre en el mismo orden y entre los dos investigadores para agilizar el proceso y aumentar la fiabilidad de los datos obtenidos. Uno de ellos realizaba la entrevista a los padres y el análisis baropodométrico y el otro efectuaba la evaluación clínica y el test neuromadurativo. Tras la valoración, se realizó un informe a partir de un modelo genérico con los resultados obtenidos y las recomendaciones derivadas de ellos (Anexo 4) y se explicó la información requerida por los padres. En los niños que resultaron excluidos, se completó la evaluación inicial con el análisis baropodométrico y neuromadurativo cuando los padres así lo solicitaron.

6.2. VARIABLES ANALIZADAS Y PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE LAS MISMAS

6.2.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

En la entrevista a los padres o tutores se recogieron los antecedentes médicos de los niños y niñas, su opinión sobre el patrón de marcha y las variables referidas a los posibles factores de riesgo y relacionados con la marcha de puntillas idiopática, los hitos del desarrollo neuromadurativo y las manifestaciones clínicas más frecuentes. Esta entrevista tuvo una duración aproximada de entre 10 y 20 minutos y las respuestas se anotaron en una hoja de

valoración que incluía las distintas categorías de las variables cualitativas (Anexo 5), las cuales se detallan a continuación.

- ✓ Antecedentes familiares (Sí/No, cualitativa dicotómica), de marcha de puntillas idiopática en padres, tíos, hermanos o primos [16, 138, 216, 222-224, 226, 235, 247].
- ✓ Riesgo biológico (Sí/No, cualitativa dicotómica), presencia de FR neurológico y sensorial, visual o auditivo (Anexo 1) [105, 109, 282, 283].
- ✓ Peso al nacimiento (cualitativa categórica), según los criterios de la Organización Mundial de la Salud [284].
- ✓ Características del parto y posibles complicaciones (cualitativa categórica) [110].
- ✓ Edad de control vesical, diurno, nocturno y anal; de inicio del gateo, la marcha y de pronunciación de las primeras palabras (en meses, cuantitativas continuas). Como inicio de la marcha se consideró el ser capaz de dar cinco pasos de forma independiente [285].
- ✓ Experiencia de marcha (en meses, cuantitativa continua), los meses transcurridos desde el comienzo de la marcha independiente hasta la fecha de la valoración [3].
- ✓ Gateo (Sí/No, cualitativa dicotómica). Se registró si el niño o la niña había gateado en algún momento de su desarrollo o no y la forma de hacerlo (cualitativa categórica) [66].
- ✓ Uso de tacatá, andador o cualquier dispositivo para favorecer la marcha durante las primeras etapas de la misma (Sí/No, cualitativa dicotómica) [216, 222].
- ✓ Sedestación (cualitativa categórica), forma habitual en la que se sentaba el niño o la niña en el suelo para jugar [105, 194].
- ✓ Dolor (Sí/No, cualitativa dicotómica), molestias en MMII al caminar o tras el ejercicio físico, calambres nocturnos o cansancio excesivo [16, 216, 222].
- ✓ Torpeza (Sí/No, cualitativa dicotómica), percepción de los padres de caídas frecuentes o apariencia torpe y descoordinada con respecto a los niños de su edad [16, 222, 226].
- ✓ Realización de ejercicio físico (Sí/No, cualitativa dicotómica), aparte de la psicomotricidad escolar [16].

Las características descriptivas se completaban en la misma hoja de recogida de datos que las variables clínicas (Anexo 6):

- ✓ Edad (en meses, cuantitativa continua). Se tomó como edad del niño o de la niña los meses cumplidos, es decir, que se anotó el último mes que en su totalidad hubiese completado. En niños prematuros se utilizó la edad corregida.
- ✓ Sexo (Mujer/hombre, cualitativa dicotómica).
- ✓ Altura (en m, cuantitativa continua).

- ✓ Peso (en kg, cuantitativa continua).

Las mediciones de la altura y el peso se realizaron de acuerdo con un protocolo estandarizado, con una balanza calibrada con una precisión de ± 100 g y un tallímetro con una precisión de ± 1 mm [6].

6.2.2. VARIABLES DEPENDIENTES

6.2.2.1. Estática y movilidad de los miembros inferiores

Para las mediciones clínicas se han escogido pruebas con fiabilidad demostrada de moderada a alta, con coeficientes de correlación intraclase superiores al 0,50 o al 0,75 [127, 133, 152, 286, 287], respetando la corrección en las posiciones y la metodología de medición [141, 288]. El examinador, con experiencia y previamente adiestrado [142, 289, 290], tomó una única medición. Aunque la realización de tres mediciones y la utilización de su media hubiese podido resultar mas fiable [155, 291, 292], Mollinguer y Steffan encontraron una diferencia media de 1° entre las distintas mediciones repetidas por el mismo examinador [293]. La elección de las pruebas, que se exponen a continuación, se ha realizado por su adecuación a la edad de estudio y su posible relación con el patrón de marcha [294, 295].

6.2.2.1.1. *Medidas clínicas goniométricas*

Las mediciones fueron realizadas mediante un goniómetro de plástico transparente de 360° con dos brazos móviles de 17,5 cm de longitud cada uno, con una escala angular dividida en incrementos de 2° y otra lineal con precisión de 1 mm [139]. Se evitaron las compensaciones con otros segmentos corporales [155, 291, 292] y se efectuaron siguiendo las recomendaciones que proporcionaron Greene y Heckman para mejorar su fiabilidad [141].

A continuación se describen las variables clínicas y el procedimiento utilizado para su medición, cuyos resultados fueron recogidos en una hoja de valoración junto con el estudio de la huella plantar y las características descriptivas (Anexo 6).

- ✓ Ángulo poplíteo (°, cuantitativa continua). Se midió con el niño o la niña en decúbito supino y con la cadera del miembro inferior a medir en flexión de 90°, mientras el otro descansaba relajado sobre la camilla, siguiendo las pautas de Norkin y Joyce. En esta

posición se extendía la rodilla y con el fulcro del goniómetro centrado sobre el epicóndilo lateral del fémur, alineando el brazo proximal con la línea media lateral del fémur y el brazo distal con la línea media lateral del peroné [128], se tomaba nota de la máxima extensión lograda con la pelvis en contacto con la camilla (Figura 17). Se registró el ángulo suplementario al que faltaba para llegar a los 180° de extensión de rodilla [130].



Figura 17: Medición del ángulo poplíteo.

- ✓ Flexión dorsal pasiva del tobillo con la rodilla extendida y flexionada (°, cuantitativas continuas). El niño o la niña se situó en decúbito prono en la camilla con las rodillas en extensión completa y el pie por fuera de la misma, alineado con la pierna y el muslo (Figura 18), para realizar primero la medición pasiva de la FD con la rodilla extendida, manteniendo el pie en posición neutra [132, 139]. Posteriormente, se realizó la flexión de la rodilla hasta los 90° para medir la FD pasiva del tobillo sin la tensión muscular de los gemelos, colocando el pie en la posición de 0° de eversión e inversión [128]. El goniómetro se situó con el brazo proximal alineado con la línea media lateral del peroné, usando como referencia la cabeza del mismo, y el brazo móvil sobre la cara lateral del quinto metatarsiano [139]. Se tomó como valor de referencia para la FD (0°) la posición de flexión plantar completa del tobillo, en la que el pie se encuentra alineado con la pierna, en vez de elegir como posición de referencia la perpendicular del pie con respecto a la pierna [128].



Figura 18: Medición de la dorsiflexión pasiva del tobillo, con la rodilla extendida y flexionada.

- ✓ Posición relajada del calcáneo en carga (\pm° , cuantitativa continua). Previamente a la valoración de la inclinación del talón respecto a la superficie de apoyo se marcó, con el niño o la niña en la posición anteriormente descrita, la línea vertical de bisección del talón según un plano frontal [149]. La posición relajada de calcáneo en carga (PRCC) se midió con un brazo del goniómetro sobre el suelo y el otro centrado sobre la bisectriz del calcáneo (Figura 19), en bipedestación relajada sin apoyo y con los pies en la posición natural del niño [148].
- ✓ Ángulo de pronación (\pm° , cuantitativa continua). Inmediatamente después y en la misma posición se midió la posición del tercio distal de la pierna (TDP), con un brazo del goniómetro sobre el suelo y el otro alineado sobre la bisectriz del tendón de Aquiles (Figura 19) [155]. El ángulo de pronación se calculó sumando el ángulo del TDP y el de la PRCC [156, 157]. Para todas las mediciones se consideró como ángulo neutro al igual a 0° , los valores de valgo (líneas lateralizadas) como positivos y los de varo (líneas medializadas) como negativos [149].

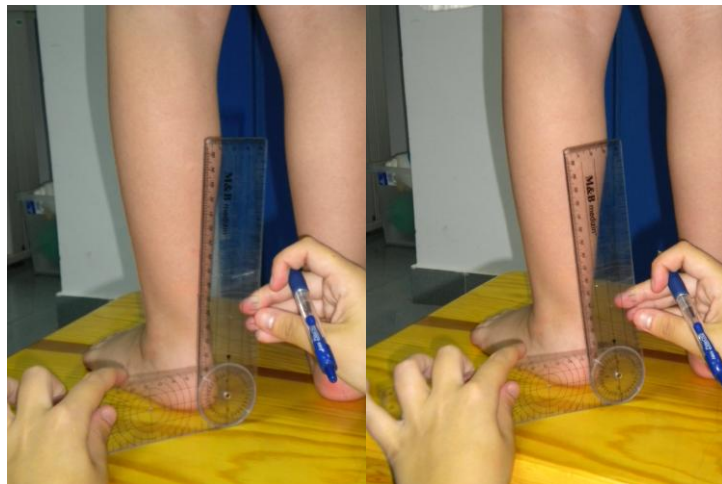


Figura 19: Medición de la posición relajada del calcáneo en carga y el tercio distal de la tibia.

- ✓ Navicular drop o caída del navicular (mm, cuantitativa continua). Como punto de partida para el test, se localizó la tuberosidad del escafoides mediante palpación y se señaló en bipedestación relajada, en la que cada pie soportaba aproximadamente la mitad del peso corporal, los tobillos se hallaban en posición neutra y el cuerpo erguido en posición normal, midiéndose su altura respecto al suelo con la regla milimetrada del brazo del goniómetro. Para valorar la caída del navicular se calculó el descenso de su tuberosidad en el plano sagital cuando el niño o la niña pasaba desde una bipedestación relajada hasta una posición de monopedestación con apoyo [158, 163], en la que el niño levantaba el pie que no estaba siendo evaluado mientras se apoyaba en una barandilla con la mano del mismo lado (Figura 20). Se ha empleado este método en vez del descrito por Brody [162] al considerar que permite una mejor aproximación a la deformación del ALI durante la marcha [159-161] además de eliminar la subjetividad que implica el establecer la posición subtalar neutra [291, 296-298].



Figura 20: Medición de la caída del navicular desde la posición de bipedestación relajada a la de monopedestación.

6.2.2.1.2. Estudio de la huella plantar

La observación directa de la huella de los niños y niñas en el podoscopio, en bipedestación relajada sin apoyo, permitió la obtención de tres variables:

- ✓ Tipo de huella (Cualitativa categórica). Se clasificó la huella plantar, según los criterios de Viladot y cols., en normal, plana grado I, II, III ó IV o excavada de grado I ó II (Figura 21) [169].

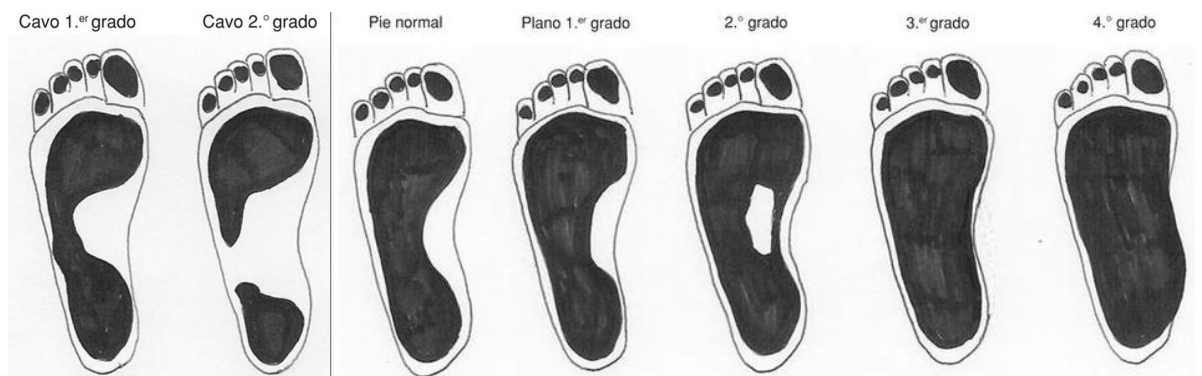


Figura 21: Clasificación de las huellas plantares. Fuente: Viladot y Viladot [169].

- ✓ Pico de pronación (Sí/No, cualitativa dicotómica). Presencia de una marca en forma de pico que se visualiza en la proyección vertical de la zona anteromedial del calcáneo ante una hiperpronación del talón en niños con un ALI conservado [19, 154].
- ✓ Apoyo de talón (Normal/Disminuído o estrecho, cualitativa dicotómica). Se clasificó el apoyo de talón como normal cuando mostraba unas dimensiones proporcionales al resto de regiones del pie y como disminuido o estrecho cuando se observaba una pérdida del apoyo o su anchura era igual o menor que la del mediopié.

6.2.2.2. Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Infantil (CUMANIN)

El CUMANIN es un test muy completo que cubre las funciones cognitivas, los aspectos del lenguaje, de la motricidad, de la percepción y de la lateralidad necesarios para la realizar una completa exploración neuropsicológica, a falta de una evaluación del área afectiva y la personalidad [105]. Supone una evaluación del desarrollo de niño basada en la propuesta de una tarea que se enfoca como un reto, con continuas variaciones, para evaluar sus capacidades y sus límites ante la progresiva complejidad de las demandas, es decir, su comportamiento adaptativo voluntario [9]. Está formado por 13 escalas, que se dividen en principales y auxiliares, en las que se agrupan 83 pruebas, cada una de las cuales ha de ser valorada como acierto (1) o error (0). Las ocho escalas principales y la única de las auxiliares empleada en el presente trabajo, cuyos resultados se expresan en centiles de desarrollo (adimensionales, cuantitativas continuas), son:

- ✓ Psicomotricidad (Figura 22).
- ✓ Lenguaje Articulatorio.
- ✓ Lenguaje Expresivo.
- ✓ Lenguaje Comprensivo.

- ✓ Estructuración Espacial.
- ✓ Visopercepción.
- ✓ Memoria.
- ✓ Ritmo.
- ✓ Fluidez.
- ✓ Atención.



Figura 22: Diversas pruebas de la escala de Psicomotricidad del CUMANIN.

El orden de las pruebas, las instrucciones específicas para cada una y los criterios de corrección, que se siguieron estrictamente, se encuentran detallados en el Cuestionario. La recogida de datos se realizó en el cuadernillo destinado tal efecto, así como la obtención de los resultados y su transformación en centiles (Anexo 7) [111]. Para cada niño se obtuvieron también unos resultados globales, reflejados en:

- ✓ Centiles de desarrollo (adimensionales, cuantitativas continuas):
 - Desarrollo Verbal, a partir de las escalas de Lenguaje Articulatorio, Expresivo y Comprensivo, y de Desarrollo no Verbal.

- Desarrollo No Verbal, que incluye las escalas de Psicomotricidad, Estructuración Espacial, Visopercepción, Memoria y Ritmo.
- Desarrollo Total, suma de las puntuaciones directas de las ocho escalas principales.
- ✓ Cociente de Desarrollo (cuantitativa continua), que expresa la madurez neuropsicológica del niño y resulta de la interpretación en centiles del Desarrollo Total.

La anotación de la mano o el pie utilizados por el niño o niña en algunas actividades, junto con la propuesta de ocho pruebas específicas, permitió la evaluación de la organización de la lateralidad [111], obteniéndose las siguientes variables:

- ✓ Lateralidad visual, manual y podálica (cualitativa categórica). Se anotó si los niños utilizaban la mano, el ojo o el pie derechos para todas las pruebas (D+) o para la mayoría (D-), utilizaban la mano, el ojo o el pie izquierdos para todas las pruebas (I+) o para la mayor parte (I-), usaban una mano, un ojo o un pie para la mitad de las pruebas y otro para la otra mitad (Mitad) o bien realizaban las propuestas con las dos manos juntas, en las pruebas manuales.
- ✓ Lateralidad homogénea (Sí/No, cualitativa dicotómica). Se define como lateralidad homogénea la que presentan los niños y las niñas que utilizan el ojo, la mano y el pie del mismo lado para la realización de todas pruebas.

6.2.2.3. Análisis instrumental de la marcha mediante baropodometría: sistema Footscan® Gait Clinical System

El sistema Footscan® Gait Clinical System consiste en una plataforma de presiones de 40 x 200 cm, con 16384 sensores y una velocidad de medición de 500 Hz, con un software para hacer mediciones estáticas y dinámicas, con análisis multipaso [299]. Tras calibrar el sistema [191] e introducir el peso y número de pie del niño o la niña a evaluar se desarrolló el protocolo de valoración, que consistió en un análisis dinámico en el que el niño o la niña, después de caminar libremente durante al menos 1 minuto, pasaba sobre la plataforma (Figura 23), integrada en una pista de marcha de 9 metros para que se pudiesen dar más de 3 pasos antes de entrar a la plataforma y alcanzar una marcha normal [40, 300]. Se pidió a los niños que caminasen mirando al frente y no al suelo [53] y a una velocidad que les resultase cómoda, al igual que en otros trabajos de marcha infantil [23, 38, 39, 41, 187, 188] y puesto

que el efecto de la velocidad sobre el patrón de marcha de los AP de edades semejantes a las del presente estudio ha sido descartado [15].



Figura 23: Recogida de los datos baropodométricos.

Se recogieron al menos 10 huellas de ambos pies de cada niño, el máximo recomendado para la utilización clínica o la investigación con el Footscan®[301], y para el análisis se utilizó su media. Se intentó con ello minimizar las posibles limitaciones en el registro de los datos debidas a la variabilidad del apoyo de los AP y a que no se ha hallado ningún trabajo sobre la fiabilidad de este sistema, aunque sí de otros similares [184, 302, 303]. Se eligieron para el análisis aquellas huellas que no fuesen el resultado de los primeros pasos dentro de la plataforma ni estuviesen en contacto con el límite lateral de la misma. Esta recogida de datos requirió de un gran número de registros en los niños más pequeños, para excluir los no correctos (en los que corrían, tropezaban, etc.) [37], y en algunos casos hubo que usar la ayuda de los padres y de premios o dulces para lograr la cooperación del niño [38].

Las variables analizadas (cuantitativas continuas) para cada uno de los dos pies, que se indican a continuación, fueron calculadas directamente por el sistema mediante el sistema automático de división del pie en zonas, ampliamente utilizado para facilitar la comparación y evitar los errores y sesgos [11, 13, 37, 38, 45, 188].

6.2.2.3.1. Variables de las regiones de retropié, mediopie y antepié (Figura 24)

- ✓ Porcentaje de contacto (%): Superficie de apoyo de cada una de las zonas en relación a la de todo el pie.
- ✓ Porcentaje de impulso (%): Impulso que realiza cada una de las regiones con respecto al impulso total del pie.

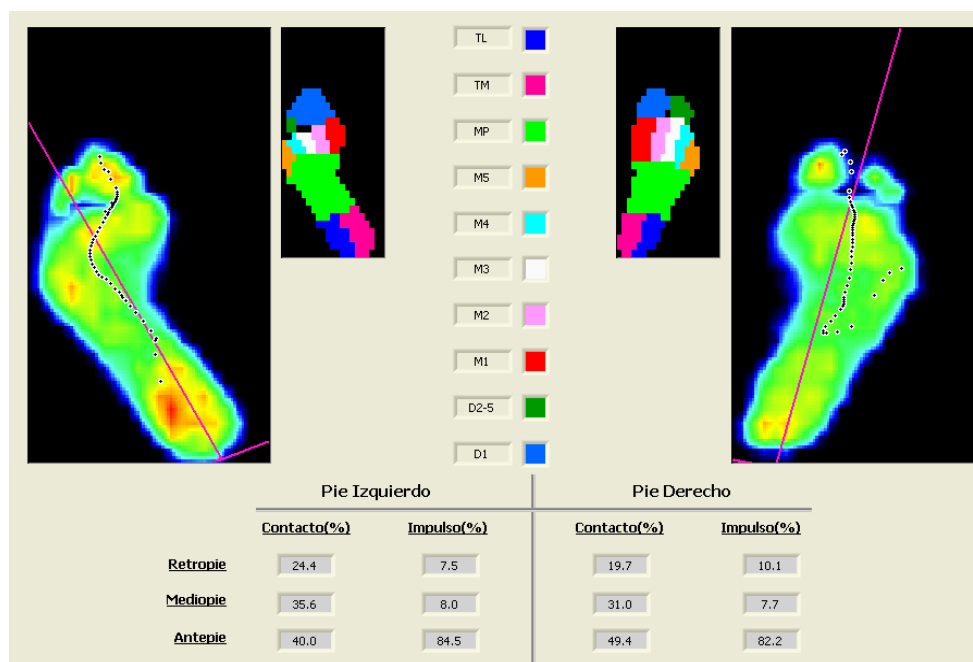


Figura 24: Pantalla del Footscan® que muestra el porcentaje de contacto y de impulso de las regiones del retropié, mediopie y antepié con respecto al total del pie. La línea de progresión del paso, utilizada para calcular el ángulo de marcha, aparece también en esta pantalla.

6.2.2.3.2. Variables calculadas según la división automática del pie en diez zonas

Los siguientes parámetros se hallaron para cada una de las zonas de primer dedo, de segundo a quinto dedos, primer metatarsiano, segundo metatarsiano, tercer metatarsiano, cuarto metatarsiano, quinto metatarsiano, mediopie, talón medial y talón lateral:

- ✓ Presión media máxima (N/cm^2): Valor medio de la presión máxima que ejerce cada zona del pie durante el tiempo total que dicha zona permanece apoyada.
- ✓ Presión pico (N/cm^2): Máxima presión que realiza una zona durante el desarrollo del paso.
- ✓ Porcentaje de tiempo de apoyo (%): Duración del apoyo en cada una de las zonas con respecto al tiempo total del paso.
- ✓ Tiempo de inicio de la presión (ms): Instante de comienzo de la presión con cada zona del pie.

- ✓ Tiempo de aplicación de la presión máxima (ms): Momento en el que cada una de las zonas ejerce la máxima presión.

6.2.2.3.3. Variables referidas al patrón de marcha

- ✓ Duración del paso (ms): Tiempo que transcurre entre el primer apoyo del pie y el instante en el que cesa la presión la última zona que realiza el despegue.
- ✓ Ángulo de progresión del pie (+/- °): También llamado ángulo de marcha, es la diferencia angular entre el eje del pie y la dirección de progresión [115]. Se indican como negativos los datos referidos a ángulos de adducción y como positivos los correspondientes a abducción (Figura 24).

6.2.2.3.4. Variable que describe el contacto inicial del pie de los AP

- ✓ Modelo de contacto inicial del pie (cualitativa categórica). La visualización de los 10 registros baropodométricos del Footscan® permitió definir tres tipos de AP en función de su modelo de contacto inicial [13], a partir de los descritos en niños al inicio de la marcha independiente (Figura 3) [23, 37, 38]. Como Tipo 1 se calificaron los AP que mostraban un apoyo de talón constante; como Tipo 2 los que mostraban un contacto inicial variable, alternando el choque de talón con el apoyo plantígrado, y como Tipo 3 se incluyeron aquellos AP que demostraron un contacto inicial del antepié continuado con un apoyo retrógrado del talón.

6.3. RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Los casos que rechazaron participar y sus motivos fueron registrados en un diario de rechazos. Los datos de cada paciente fueron recogidos en un formulario en el que constaba el número de historia, codificado según una tabla de equivalencias alfanuméricas. Posteriormente, estos datos y los relativos a las distintas valoraciones, es decir, las variables anteriormente enumeradas, se introdujeron en el formato digital del mismo creado en el paquete estadístico SPSS v.19.0. Los resultados de la valoración instrumental de la marcha se procesaron previamente en una hoja de cálculo de Excel.

El análisis estadístico se realizó con el Software SPSS v.19.0 para Windows. El primer análisis se refirió a las características y regularidades del conjunto de los datos, con la descripción estadística de las variables cualitativas mediante la distribución de frecuencias y de las cuantitativas a través de la media y la desviación estándar. Para la comparación de los grupos se realizaron diversas pruebas estadísticas. Para las variables cuantitativas, una vez observada su distribución normal, se utilizó el test de la T de Student cuando se compararon dos grupos y el análisis ANOVA cuando se compararon más de dos. Para las variables cualitativas, se empleó el test de la Chi-cuadrado. Los algoritmos de valoración se han elaborado mediante árboles de decisión y se han calculado también los valores de calidad de este modelo de estimación (coeficientes R^2). Para todos los tests realizados, se ha considerado una significación estadística con valores de $p < 0,05$, para un intervalo de confianza del 95%, y de $p < 0,001$, para un intervalo de confianza del 99%.

RESULTADOS

7. RESULTADOS

A continuación se exponen, mediante tablas y gráficos, los resultados del análisis de las variables estudiadas, indicando las diferencias entre los niños del grupo control (N=40) y los AP (N=56), obtenidas siguiendo el método explicado anteriormente. En las variables cuantitativas se detalla la desviación estándar (DE) a continuación de la media y los niveles de significación han sido señalados con * para valores de $p < 0,05$ y con ** para $p < 0,001$.

7.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y ENTREVISTA A LOS PADRES

Entre las características descriptivas del grupo control y los AP sólo se demostraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos en el porcentaje de varones.

VARIABLE (UNIDAD)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Edad (meses)	Control	56,55	14,229	0,495
	AP	54,70	12,165	
Peso (kg)	Control	18,560	3,323	0,162
	AP	19,557	3,490	
Altura (m)	Control	1,075	0,086	0,523
	AP	1,087	0,083	
IMC	Control	15,939	1,245	0,073
	AP	16,461	1,487	
Sexo masculino (%)	Control	57,7		0,008*
	AP	69,6		

Tabla 1: Características descriptivas de los grupos.

IMC: Índice de masa corporal

* $p < 0,05$

Las respuestas a la entrevista inicial sobre la presencia de posibles factores de riesgo o relacionados con la marcha de puntillas idiopática desvelaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de niños, control y AP, en la presencia de antecedentes familiares y de factores de riesgo biológico durante el período perinatal.

VARIABLE (UNIDAD)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Antecedentes familiares de marcha de puntillas (%)	Control	0		0,000**
	AP	17		
Presencia de factores de riesgo biológico (%)	Control	0		0,032*
	AP	11,3		
Bajo o muy bajo peso al nacimiento (%)	Control	13,2		0,057
	AP	3,8		
Edad del control vesical diurno (meses)	Control	28,26	5,413	0,431
	AP	27,23	6,712	
Edad del control vesical nocturno (meses)	Control	32,89	12,825	0,938
	AP	33,1	8,949	
Edad del control anal (meses)	Control	27,08	9,626	0,793
	AP	27,53	6,707	
Edad de inicio del gateo (meses)	Control	8,04	2,875	0,486
	AP	8,51	2,475	
Edad de inicio de la marcha (meses)	Control	12,62	2,135	0,262
	AP	13,11	2,061	
Edad de pronunciación de las primeras palabras (meses)	Control	19,54	7,377	0,082
	AP	16,88	6,707	
Utilización del gateo para desplazarse (%)	Control	71,8		0,969
	AP	71,4		
Experiencia de marcha (meses)	Control	43,82	15,398	0,501
	AP	41,80	12,541	
Uso de tacatá o andador (%)	Control	18,4		0,347
	AP	26,8		
Sedestación “en W” (%)	Control	42,5		0,747
	AP	32,1		

Tabla 2: Antecedentes familiares, personales y otros factores con posible relación con el patrón de marcha.

* p<0,05 ** p<0,001

De forma complementaria, se estudiaron la circunstancias del parto y, aunque no se demostraron diferencias estadísticamente significativas entre los AP y los niños del grupo control, se ha considerado de interés la elevada presencia de cesáreas y otros factores de riesgo relacionados con el parto en los dos grupos de niños.

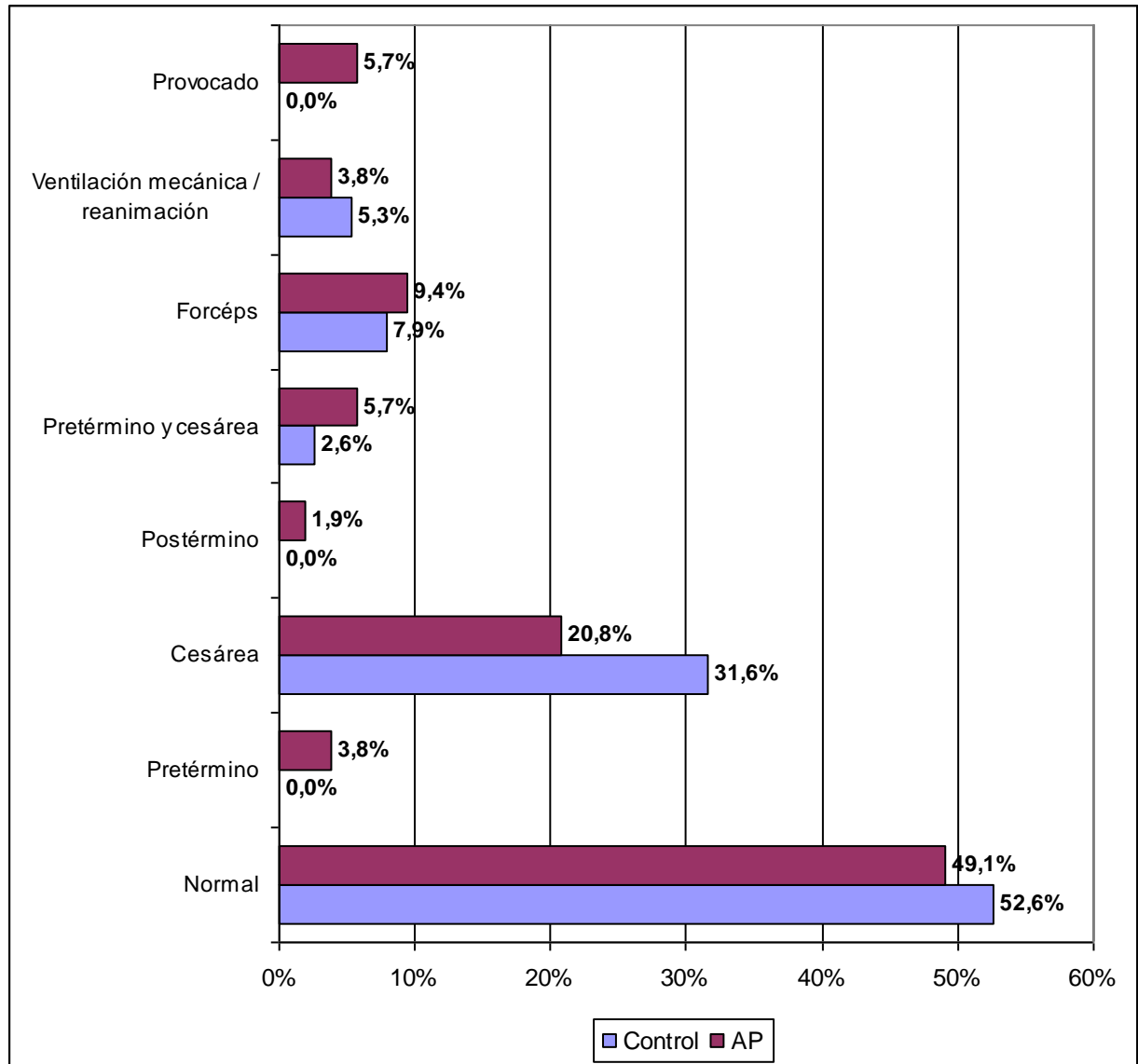


Gráfico 1: Circunstancias del parto (p=0,538).

El porcentaje de padres o tutores que había percibido una cierta torpeza motriz en los AP resultó significativamente superior al del grupo control

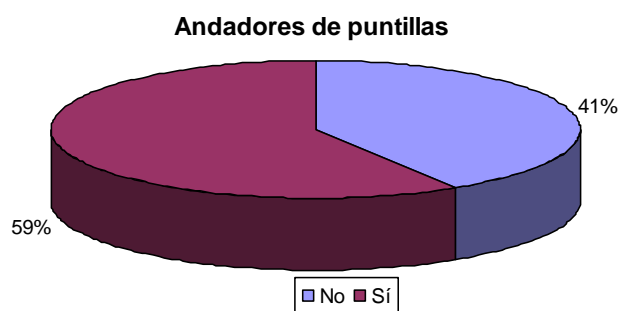
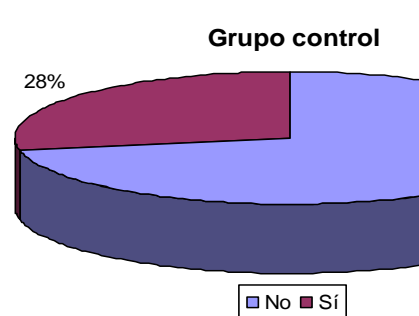


Gráfico 2: Torpeza motriz de los niños, percibida por los progenitores y/o tutores ($p=0,009$).

Antes de proceder al estudio de las variables clínicas, baropodométricas y neuromadurativas, se analizaron las diferencias entre los parámetros relativos a los dos MMII, para considerar la conveniencia de considerar tan sólo uno de ellos o los dos. El hallazgo de diferencias estadísticamente significativas entre los dos pies en gran parte de las variables principales, que se muestran en la siguiente tabla y se verificaron al analizar por separado los dos grupos, AP y control, llevaron a estudiar los dos pies por separado.

	VARIABLES (UNIDAD)	MEDIA	SIG.
Par 1	Posición relajada del calcáneo en carga, derecho (°)	5,250	0,287
	Posición relajada del calcáneo en carga, izquierdo (°)	4,920	
Par 2	Ángulo de pronación derecho (°)	8,250	0,264
	Ángulo de pronación izquierdo (°)	7,790	
Par 3	Test de la caída del navicular derecho (mm)	3,470	0,832
	Test de la caída del navicular izquierdo (mm)	3,430	
Par 4	Flexión dorsal del tobillo con rodilla extendida, derecha (°)	99,050	0,000**
	Flexión dorsal del tobillo con rodilla extendida, izquierda (°)	101,720	
Par 5	Flexión dorsal del tobillo con rodilla flexionada, derecha (°)	116,650	0,01*
	Flexión dorsal del tobillo con rodilla flexionada, izquierda (°)	118,210	
Par 6	Ángulo poplíteo, derecho (°)	149,890	0,856
	Ángulo poplíteo, izquierdo (°)	150,000	
Par 7	Porcentaje de contacto del retropié derecho (%)	17,886	0,000**
	Porcentaje de contacto del retropié izquierdo (%)	14,900	
Par 8	Porcentaje de impulso del retropié derecho (%)	18,753	0,000**
	Porcentaje de impulso del retropié izquierdo (%)	17,043	
Par 9	Porcentaje de contacto del mediopié derecho (%)	29,139	0,000**
	Porcentaje de contacto del mediopié izquierdo (%)	32,360	
Par 10	Porcentaje de impulso del mediopié derecho (%)	6,908	0,335
	Porcentaje de impulso del mediopié izquierdo (%)	7,146	
Par 11	Porcentaje de contacto del antepié derecho (%)	52,862	0,54
	Porcentaje de contacto del antepié izquierdo (%)	52,674	
Par 12	Porcentaje de impulso del antepié derecho (%)	74,422	0,003*

	Porcentaje de impulso del antepié izquierdo (%)	75,883	
Par 13	Contacto total del pie derecho	72,894	0,000**
	Contacto total del pie izquierdo	70,336	
Par 14	Impulso total del pie derecho	6,674	0,002*
	Impulso del pie izquierdo	6,920	
Par 15	Inicio en primer dedo derecho (ms)	222,924	0,387
	Inicio en primer dedo izquierdo (ms)	217,099	
Par 16	Inicio en dedos de 2° a 5°, derechos (ms)	256,412	0,035*
	Inicio en dedos de 2° a 5°, izquierdos (ms)	243,844	
Par 17	Inicio en primer metatarsiano derecho (ms)	80,932	0,992
	Inicio en primer metatarsiano izquierdo (ms)	80,890	
Par 18	Inicio en segundo metatarsiano derecho (ms)	63,074	0,586
	Inicio en segundo metatarsiano izquierdo (ms)	64,635	
Par 19	Inicio en tercer metatarsiano derecho (ms)	54,725	0,295
	Inicio en tercer metatarsiano izquierdo (ms)	57,275	
Par 20	Inicio en cuarto metatarsiano derecho (ms)	50,246	0,628
	Inicio en cuarto metatarsiano izquierdo (ms)	49,035	
Par 21	Inicio en quinto metatarsiano derecho (ms)	78,598	0,000**
	Inicio en quinto metatarsiano izquierdo (ms)	57,348	
Par 22	Inicio en mediopié derecho (ms)	16,947	0,000**
	Inicio en mediopié izquierdo (ms)	9,640	
Par 23	Inicio en zona medial del talón derecho (ms)	1,359	0,147
	Inicio en zona medial del talón izquierdo (ms)	0,884	
Par 24	Inicio en zona lateral del talón derecho (ms)	1,556	0,226
	Inicio en zona lateral del talón izquierdo (ms)	0,884	
Par 25	Porcentaje de tiempo de apoyo del primer dedo derecho (%)	54,576	0,288
	Porcentaje de tiempo de apoyo del primer dedo izquierdo (%)	55,822	
Par 26	Porcentaje de tiempo de apoyo de los dedos de 2° a 5°, derechos (%)	45,236	0,05
	Porcentaje de tiempo de apoyo de los dedos de 2° a 5°, izquierdos (%)	47,414	
Par 27	Porcentaje de tiempo de apoyo del primer metatarsiano derecho (%)	74,178	0,027*
	Porcentaje de tiempo de apoyo del primer metatarsiano izquierdo (%)	72,134	

Par 28	Porcentaje de tiempo de apoyo del segundo metatarsiano derecho (%)	79,647	0,009*
	Porcentaje de tiempo de apoyo del segundo metatarsiano izquierdo (%)	78,167	
Par 29	Porcentaje de tiempo de apoyo del tercer metatarsiano derecho (%)	80,835	0,039*
	Porcentaje de tiempo de apoyo del tercer metatarsiano izquierdo (%)	79,843	
Par 30	Porcentaje de tiempo de apoyo del cuarto metatarsiano derecho (%)	78,391	0,003*
	Porcentaje de tiempo de apoyo del cuarto metatarsiano izquierdo (%)	80,090	
Par 31	Porcentaje de tiempo de apoyo del quinto metatarsiano derecho (%)	63,251	0,000**
	Porcentaje de tiempo de apoyo del quinto metatarsiano izquierdo (%)	72,141	
Par 32	Porcentaje de tiempo de apoyo del mediopié derecho (%)	52,564	0,61
	Porcentaje de tiempo de apoyo del mediopié izquierdo (%)	52,874	
Par 33	Porcentaje de tiempo de apoyo de la zona medial del talón derecho (%)	45,392	0,097
	Porcentaje de tiempo de apoyo de la zona medial del talón izquierdo (%)	44,342	
Par 34	Porcentaje de tiempo de apoyo de la zona lateral del talón derecho (%)	43,962	0,006*
	Porcentaje de tiempo de apoyo de la zona lateral del talón izquierdo (%)	42,188	
Par 35	Máxima presión bajo el primer dedo derecho (N/cm ²)	3,049	0,188
	Máxima presión bajo el primer dedo izquierdo (N/cm ²)	2,934	
Par 36	Máxima presión bajo los dedos de 2° a 5° derechos (N/cm ²)	1,237	0,451
	Máxima presión bajo los dedos de 2° a 5° izquierdos (N/cm ²)	1,281	
Par 37	Máxima presión bajo el primer metatarsiano derecho (N/cm ²)	2,913	0,263
	Máxima presión bajo el primer metatarsiano izquierdo (N/cm ²)	2,828	
Par 38	Máxima presión bajo el segundo metatarsiano derecho (N/cm ²)	4,139	0,002*
	Máxima presión bajo el segundo metatarsiano izquierdo (N/cm ²)	3,867	
Par 39	Máxima presión bajo el tercer metatarsiano derecho (N/cm ²)	4,585	0,061
	Máxima presión bajo el tercer metatarsiano izquierdo (N/cm ²)	4,427	
Par 40	Máxima presión bajo el cuarto metatarsiano derecho (N/cm ²)	3,902	0,000**
	Máxima presión bajo el cuarto metatarsiano izquierdo (N/cm ²)	4,517	
Par 41	Máxima presión bajo el quinto metatarsiano derecho (N/cm ²)	1,960	0,000**
	Máxima presión bajo el quinto metatarsiano izquierdo (N/cm ²)	2,802	
Par 42	Máxima presión bajo el mediopié derecho (N/cm ²)	2,141	0,000**
	Máxima presión bajo el mediopié izquierdo (N/cm ²)	2,481	

Par 43	Máxima presión bajo la zona medial del talón derecho (N/cm ²)	5,561	0,000**
	Máxima presión bajo la zona medial del talón izquierdo (N/cm ²)	6,371	
Par 44	Máxima presión bajo la zona lateral del talón derecho (N/cm ²)	4,658	0,82
	Máxima presión bajo la zona lateral del talón izquierdo (N/cm ²)	4,620	
Par 45	Tiempo de máxima presión bajo el primer dedo derecho (ms)	431,225	0,07
	Tiempo de máxima presión bajo el primer dedo izquierdo (ms)	426,267	
Par 46	Tiempo de máxima presión bajo los dedos de 2° a 5° derechos (ms)	411,273	0,461
	Tiempo de máxima presión bajo los dedos de 2° a 5° izquierdos (ms)	408,346	
Par 47	Tiempo de máxima presión bajo el primer metatarsiano derecho (ms)	325,429	0,000**
	Tiempo de máxima presión bajo el primer metatarsiano izquierdo (ms)	294,422	
Par 48	Tiempo de máxima presión bajo el segundo metatarsiano derecho (ms)	344,447	0,000**
	Tiempo de máxima presión bajo el segundo metatarsiano izquierdo (ms)	317,892	
Par 49	Tiempo de máxima presión bajo el tercer metatarsiano derecho (ms)	340,102	0,001*
	Tiempo de máxima presión bajo el tercer metatarsiano izquierdo (ms)	322,924	
Par 50	Tiempo de máxima presión bajo el cuarto metatarsiano derecho (ms)	296,204	0,055
	Tiempo de máxima presión bajo el cuarto metatarsiano izquierdo (ms)	304,738	
Par 51	Tiempo de máxima presión bajo el quinto metatarsiano derecho (ms)	257,564	0,001*
	Tiempo de máxima presión bajo el quinto metatarsiano izquierdo (ms)	272,909	
Par 52	Tiempo de máxima presión bajo el mediopié derecho (ms)	144,425	0,000**
	Tiempo de máxima presión bajo el mediopié izquierdo (ms)	127,700	
Par 53	Tiempo de máxima presión bajo la zona medial del talón derecho (ms)	59,874	0,000**
	Tiempo de máxima presión bajo la zona medial del talón izquierdo (ms)	47,199	
Par 54	Tiempo de máxima presión bajo la zona lateral del talón derecho (ms)	50,319	0,000**
	Tiempo de máxima presión bajo la zona lateral del talón izquierdo (ms)	38,461	
Par 55	Duración del paso derecho (ms)	513,137	0,677
	Duración del paso izquierdo (ms)	511,884	
Par 56	Presión pico bajo el primer dedo derecho (N/cm ²)	12,230	0,282
	Presión pico bajo el primer dedo izquierdo (N/cm ²)	11,694	
Par 57	Presión pico bajo los dedos 2° a 5° derechos (N/cm ²)	4,390	0,043*
	Presión pico bajo los dedos 2° a 5° izquierdos (N/cm ²)	4,832	

Par 58	Presión pico bajo el primer metatarsiano derecho (N/cm ²)	8,704	0,000**
	Presión pico bajo el primer metatarsiano izquierdo (N/cm ²)	7,470	
Par 59	Presión pico bajo el segundo metatarsiano derecho (N/cm ²)	9,843	0,000**
	Presión pico bajo el segundo metatarsiano izquierdo (N/cm ²)	8,770	
Par 60	Presión pico bajo el tercer metatarsiano derecho (N/cm ²)	9,707	0,268
	Presión pico bajo el tercer metatarsiano izquierdo (N/cm ²)	9,424	
Par 61	Presión pico bajo el cuarto metatarsiano derecho (N/cm ²)	8,050	0,001*
	Presión pico bajo el cuarto metatarsiano izquierdo (N/cm ²)	8,969	
Par 62	Presión pico bajo el quinto metatarsiano derecho (N/cm ²)	5,334	0,000**
	Presión pico bajo el quinto metatarsiano izquierdo (N/cm ²)	7,632	
Par 63	Presión pico bajo el mediopié derecho (N/cm ²)	8,782	0,000**
	Presión pico bajo el mediopié izquierdo (N/cm ²)	11,157	
Par 64	Presión pico bajo la zona medial del talón derecho (N/cm ²)	16,071	0,215
	Presión pico bajo la zona medial del talón izquierdo (N/cm ²)	16,854	
Par 65	Presión pico bajo la zona lateral del talón derecho (N/cm ²)	13,570	0,201
	Presión pico bajo la zona lateral del talón izquierdo (N/cm ²)	13,000	
Par 66	Ángulo de marcha del pie derecho (°)	4,366	0,679
	Ángulo de marcha del pie izquierdo (°)	4,628	

Tabla 3: Comparación entre las principales variables de estudio para los dos miembros inferiores, derecho e izquierdo.

* p<0,05 ** p<0,001

7.2. VALORACIÓN CLÍNICA DE LOS MIEMBROS INFERIORES

En la medición de las amplitudes articulares de la rodilla y el tobillo se demostraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de niños solamente en la medición de la flexión dorsal del tobillo con la rodilla flexionada, inferior en los AP.

MEDICIÓN (UNIDAD)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Ángulo poplíteo, izquierdo (°)	Control	148,40	9,440	0,253
	AP	151,23	14,092	
Ángulo poplíteo, derecho (°)	Control	147,73	9,632	0,130
	AP	151,56	14,351	
Flexión dorsal con la rodilla extendida, izquierda (°)	Control	103,20	7,914	0,133
	AP	100,58	8,444	
Flexión dorsal con la rodilla extendida, derecha (°)	Control	99,33	8,300	0,782
	AP	98,85	8,135	
Flexión dorsal con la rodilla flexionada, izquierda (°)	Control	121,25	8,403	0,006*
	AP	115,87	9,514	
Flexión dorsal con la rodilla flexionada, derecha (°)	Control	120,13	7,552	0,001*
	AP	113,98	9,024	

Tabla 4: Valores de la medición goniométrica de las amplitudes pasivas de la rodilla y del tobillo.

* $p < 0,05$

En la valoración clínica del pie, se obtuvieron valores superiores en los dos pies de los AP en la posición relajada del calcáneo en carga, el ángulo de pronación y el test de la caída del navicular, variables que expresan una mayor pronación.

MEDICIÓN (UNIDAD)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Posición relajada del calcáneo izquierdo en carga (°)	Control	3,55	2,428	0,001*
	AP	5,89	4,137	
Posición relajada del calcáneo derecho en carga (°)	Control	4,08	2,664	0,003*
	AP	6,09	3,762	
Ángulo de pronación izquierdo (°)	Control	6,45	3,021	0,005*
	AP	8,75	4,848	
Ángulo de pronación derecho (°)	Control	7,45	3,595	0,06
	AP	8,82	3,406	
Test de la caída del navicular, izquierdo (mm)	Control	2,55	1,797	0,003*
	AP	4,05	3,024	
Test de la caída del navicular, derecho (mm)	Control	2,43	1,430	0,000**
	AP	4,21	2,647	

Tabla 5: Resultados de la evaluación clínica del pie.

* p<0,05 ** p<0,001

No se demostraron diferencias estadísticamente significativas entre los AP y los niños del grupo control en la clasificación de las huellas plantares a partir de su imagen en el podoscopio, pero los AP mostraron una mayor presencia de disminución o estrechamiento del talón en los dos pies, que no presentó ninguno de los niños del grupo control, y también del pico de pronación, con diferencias significativas respecto al grupo control sólo en el pie derecho.

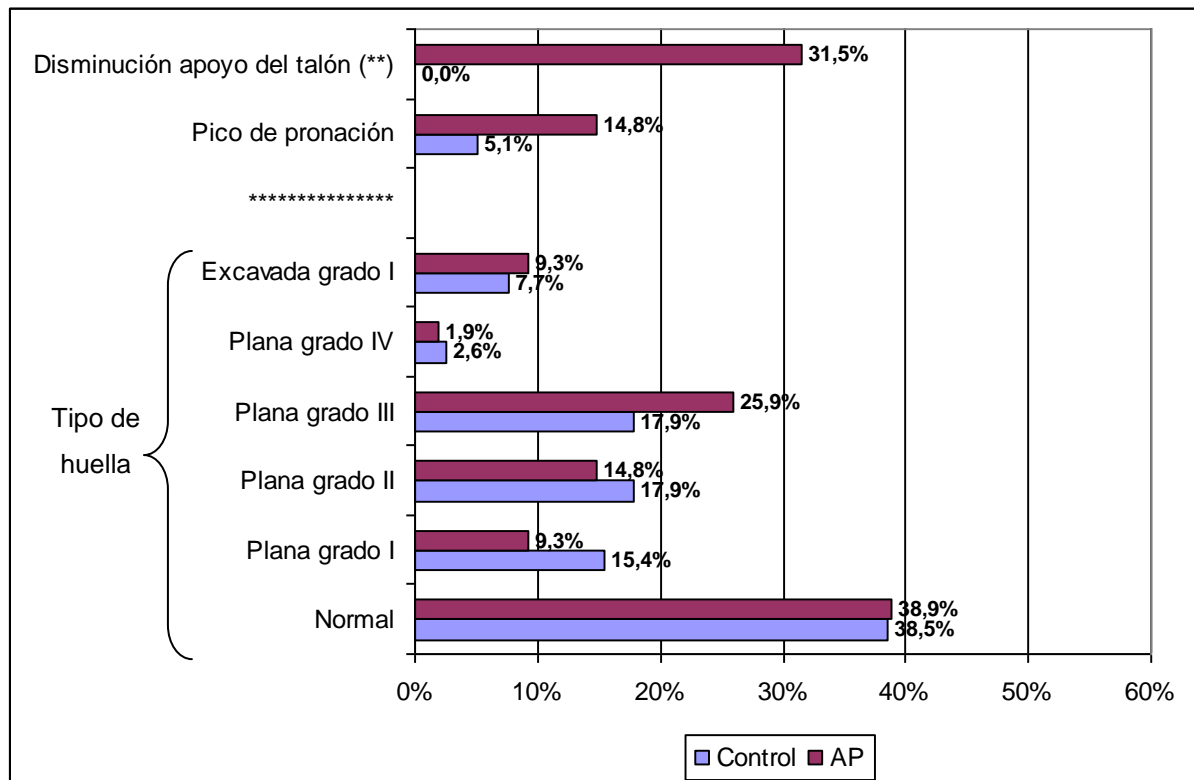


Gráfico 3: Características de las huellas plantares del pie izquierdo: tipo de huella ($p=0,9$), presencia de pico de pronación ($p=0,137$) y disminución del apoyo de talón ($p=0,000$).

** $p<0,001$

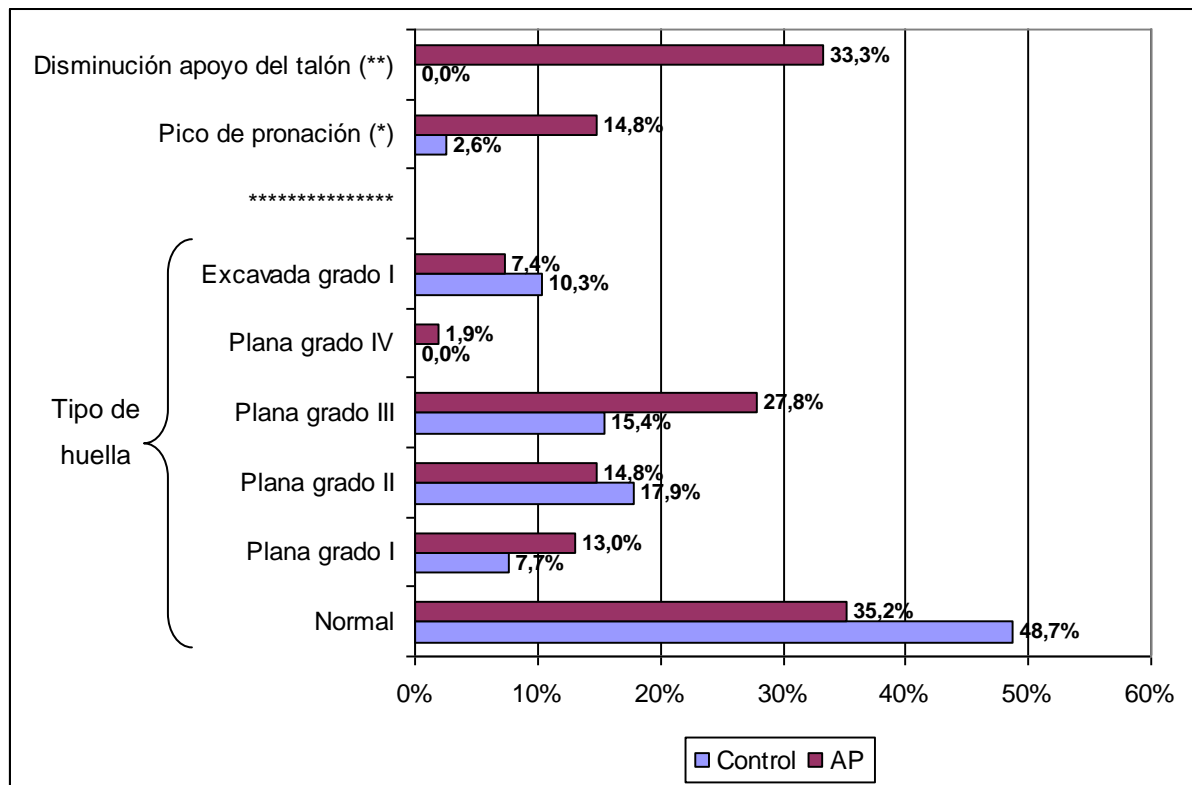


Gráfico 4: Características de las huellas plantares del pie derecho: tipo de huella ($p=0,519$), presencia de pico de pronación ($p=0,049$) y disminución del apoyo de talón ($p=0,000$).
 * $p<0,05$ ** $p<0,001$

7.3. CARACTERÍSTICAS NEUROMADURATIVAS

Los AP alcanzaron centiles significativamente inferiores a los de los niños del grupo control en las escalas de Psicomotricidad y Memoria y en el Desarrollo Verbal, No Verbal y Total, evaluados con el CUMANIN.

VARIABLE	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Psicomotricidad	Control	71,50	15,772	0,001*
	AP	29,81	24,946	
Lenguaje Articulatorio	Control	60,00	13,578	0,556
	AP	46,11	23,243	
Lenguaje Expresivo	Control	67,35	14,756	0,838
	AP	61,21	29,619	
Lenguaje Comprensivo	Control	65,00	13,149	0,822
	AP	59,02	26,238	
Estructuración Espacial	Control	52,78	10,062	0,158
	AP	61,88	29,313	
Visopercepción	Control	70,75	16,192	0,193
	AP	55,04	26,036	
Memoria	Control	91,25	8,303	0,001*
	AP	68,21	23,902	
Ritmo	Control	49,75	6,869	0,151
	AP	42,46	27,533	
Fluidez Verbal	Control	97,00	20,435	0,475
	AP	78,00	26,162	
Atención	Control	52,67	18,656	0,644
	AP	37,19	20,951	

Tabla 6: Valores medios de los centiles obtenidos en las diferentes escalas del CUMANIN.

*p<0,05

VARIABLE	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Desarrollo Verbal	Control	79,54	15,002	0,000**
	AP	41,54	21,795	
Desarrollo No Verbal	Control	81,70	16,185	0,026*
	AP	51,92	28,560	
Desarrollo Total	Control	77,44	19,575	0,004*
	AP	43,13	24,692	
Cociente de Desarrollo	Control	124,00	21,354	0,085
	AP	97,12	11,853	

Tabla 7: Valores medios de los centiles obtenidos en los diversos niveles de desarrollo evaluados por el CUMANIN y Cociente de Desarrollo, en valor absoluto.

* $p < 0,05$ ** $p < 0,001$

Al evaluar la lateralidad visual, manual y podálica en los dos grupos de niños, sólo se demostraron diferencias estadísticamente significativas entre los AP y los niños del grupo

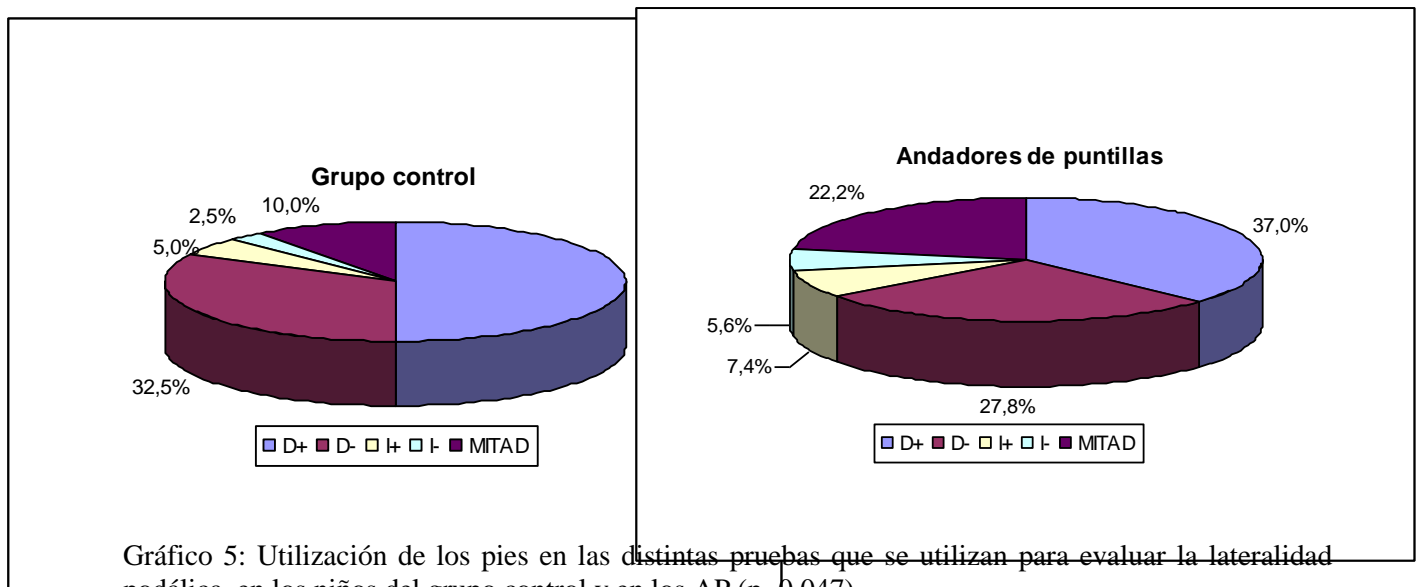


Gráfico 5: Utilización de los pies en las distintas pruebas que se utilizan para evaluar la lateralidad podálica, en los niños del grupo control y en los AP (p=0,047).

D+: Utilización exclusiva del pie derecho

D-: Utilización preferente del pie derecho

I+: Utilización exclusiva del pie izquierdo

I-: Utilización preferente del pie izquierdo

Mitad: Realización de las pruebas con los dos pies alternativamente, utilizando los dos el mismo número de veces

7.4. ANÁLISIS BAROPODOMÉTRICO DE LA MARCHA

El análisis de las presiones pico bajo cada una de las regiones del pie demostró diferencias estadísticamente significativas entre los AP y los niños del grupo control en las zonas del talón y el mediopié de los dos pies, además de en los dedos de segundo a quinto y el segundo metatarsiano del pie izquierdo.

PRESIÓN PICO (N/cm²)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Primer dedo	Control	12,726	5,457	0,116
	AP	10,957	5,334	
Dedos de 2º a 5º	Control	5,376	1,720	0,022*
	AP	4,444	2,077	
Primer metatarsiano	Control	6,853	2,122	0,063
	AP	7,910	3,375	
Segundo metatarsiano	Control	8,159	1,755	0,042*
	AP	9,207	3,182	
Tercer metatarsiano	Control	8,999	2,692	0,288
	AP	9,728	3,660	
Cuarto metatarsiano	Control	9,181	2,968	0,512
	AP	8,818	2,419	
Quinto metatarsiano	Control	7,840	2,915	0,571
	AP	7,483	3,112	
Mediopié	Control	13,317	6,085	0,001*
	AP	9,615	3,978	
Zona medial del talón	Control	18,992	9,175	0,024*
	AP	15,327	6,539	
Zona lateral del talón	Control	14,672	5,689	0,007*
	AP	11,805	4,483	

Tabla 8: Presión pico registrada bajo las distintas zonas del pie izquierdo.

* p<0,05

PRESIÓN PICO (N/cm²)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Primer dedo	Control	13,552	6,378	0,056
	AP	11,286	4,385	
Dedos de 2° a 5°	Control	4,499	1,850	0,623
	AP	4,312	1,809	
Primer metatarsiano	Control	8,399	2,672	0,448
	AP	8,923	3,709	
Segundo metatarsiano	Control	9,868	2,863	0,952
	AP	9,826	3,682	
Tercer metatarsiano	Control	9,719	2,880	0,975
	AP	9,699	3,266	
Cuarto metatarsiano	Control	8,165	2,863	0,733
	AP	7,968	2,713	
Quinto metatarsiano	Control	5,184	1,933	0,563
	AP	5,441	2,274	
Mediopié	Control	10,469	3,800	0,000**
	AP	7,578	2,891	
Zona medial del talón	Control	18,021	7,453	0,020*
	AP	14,678	6,367	
Zona lateral del talón	Control	15,242	4,681	0,006*
	AP	12,375	5,042	

Tabla 9: Presión pico registrada bajo las distintas zonas del pie derecho.

* p<0,05 ** p<0,001

Al realizar el análisis de la presiones medias máximas ejercidas por las distintas zonas del pie, no se demostraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de niños estudiados excepto en la zona lateral del talón del pie derecho ($p=0,011$) y en el segundo metatarsiano del pie izquierdo ($p=0,028$) aunque, como se observa en los siguientes gráficos, los valores eran más elevados en el talón y el mediopié de los niños del grupo control mientras que los AP realizaban presiones medias máximas más altas con el antepié.

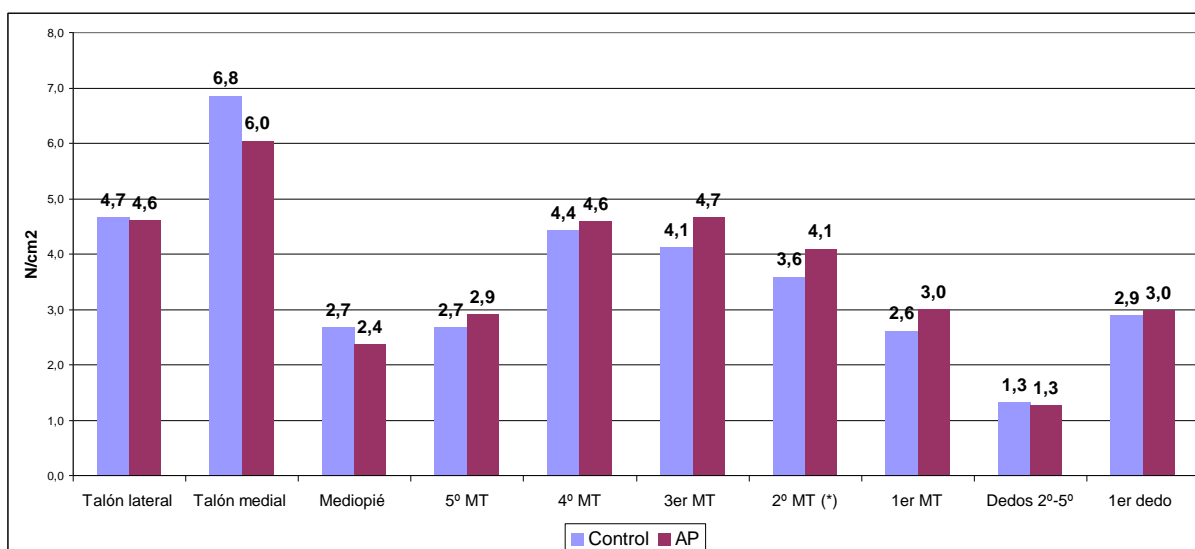


Gráfico 6: Presión media máxima registrada bajo las distintas zonas del pie izquierdo.

MT: Metatarsiano

* $p<0,05$

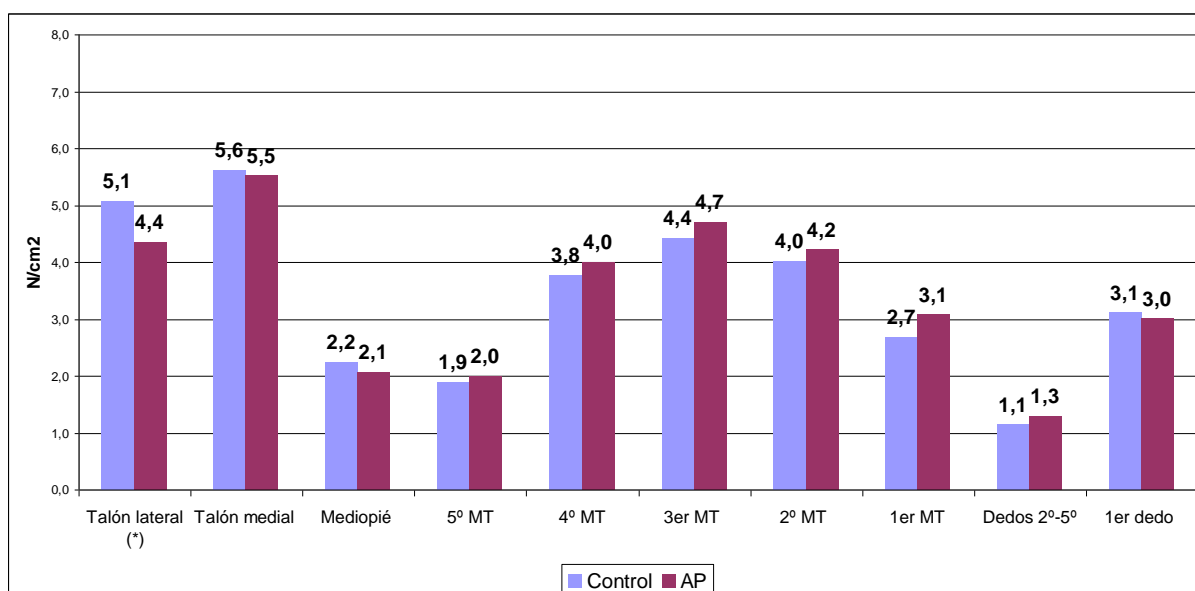


Gráfico 7: Presión media máxima registrada bajo las distintas zonas del pie derecho.

MT: Metatarsiano

* $p<0,05$

El estudio de la superficie relativa de contacto de las diversas regiones del pie reveló diferencias estadísticamente significativas entre los AP y los niños del grupo control en los porcentajes de contacto del antepié de ambos pies, con valores más bajos en los AP, que presentaban también un mayor porcentaje de contacto del retropié, significativo sólo en el pie izquierdo. No se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos de niños en la superficie total del pie.

PORCENTAJE DE CONTACTO POR REGIONES (%)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Antepié	Control	53,483	2,572	0,043*
	AP	52,096	4,055	
Mediopié	Control	32,309	4,387	0,931
	AP	32,396	5,145	
Retropié	Control	14,205	2,865	0,031*
	AP	15,396	2,452	
SUPERFICIE TOTAL DEL PIE (cm²)	Control	70,286	10,358	0,979
	AP	70,372	21,427	

Tabla 10: Porcentajes de contacto para las distintas regiones y superficie total del pie izquierdo.
* p<0,05

PORCENTAJE DE CONTACTO POR REGIONES (%)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Antepié	Control	54,279	2,771	0,002*
	AP	51,850	4,692	
Mediopié	Control	28,336	4,591	0,236
	AP	29,713	6,172	
Retropié	Control	17,386	3,514	0,18
	AP	18,244	2,707	
SUPERFICIE TOTAL DEL PIE (cm²)	Control	72,543	10,23	0,856
	AP	73,145	21,659	

Tabla 11: Porcentajes de contacto para las distintas regiones y superficie total del pie derecho.
* p<0,05

Respecto al impulso ejercido por las distintas zonas del pie, se demostraron diferencias estadísticamente significativas entre los AP y los niños del grupo control para los porcentajes de impulso del antepié y del retropié, ya que los AP realizaban una mayor proporción del impulso con el antepié y menor con el retropié, en los dos pies. Los valores totales de impulso no demostraron diferencias significativas entre los dos grupos de niños estudiados.

PORCENTAJE DE IMPULSO POR REGIONES (%)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Antepié	Control	72,612	4,781	0,000**
	AP	78,219	6,059	
Mediopié	Control	7,445	2,088	0,433
	AP	6,933	3,706	
Retropié	Control	19,946	4,218	0,000**
	AP	14,969	4,772	
IMPULSO TOTAL DEL PIE (N.s/cm²)	Control	6,647	1,788	0,334
	AP	7,114	2,641	

Tabla 12: Porcentajes de impulso relativo de las distintas regiones y valor total de impulso del pie izquierdo. ** p<0,001

PORCENTAJE DE IMPULSO POR REGIONES (%)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Antepié	Control	71,400	4,597	0,000**
	AP	76,582	5,986	
Mediopié	Control	6,777	2,183	0,723
	AP	7,002	3,967	
Retropié	Control	21,821	4,286	0,000**
	AP	16,562	4,969	
IMPULSO TOTAL DEL PIE (N.s/cm²)	Control	6,543	1,719	0,605
	AP	6,768	2,334	

Tabla 13: Porcentajes de impulso relativo de las distintas regiones y valor total de impulso del pie derecho. ** p<0,001

Al analizar el porcentaje de tiempo apoyaba que cada zona, se revelaron diferencias estadísticamente significativas entre los AP y los niños del grupo control en todas las zonas de los dos pies, pues los AP realizaban un apoyo más breve del talón y el mediopié que los niños del grupo control y un apoyo más prolongado del antepié y los dedos, sin diferencias significativas entre los dos grupos en la duración total del paso.

PORCENTAJE DE TIEMPO DE APOYO (%)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Primer dedo	Control	50,386	8,035	0,000**
	AP	59,704	10,903	
Dedos de 2° a 5°	Control	43,009	10,057	0,001*
	AP	50,560	11,808	
Primer metatarsiano	Control	66,679	9,238	0,000**
	AP	76,031	9,175	
Segundo metatarsiano	Control	73,179	7,001	0,000**
	AP	81,730	6,153	
Tercer metatarsiano	Control	75,583	6,466	0,000**
	AP	82,886	4,944	
Cuarto metatarsiano	Control	76,670	6,806	0,000**
	AP	82,533	4,337	
Quinto metatarsiano	Control	70,012	8,061	0,021*
	AP	73,662	7,088	
Mediopié	Control	57,145	6,817	0,000**
	AP	49,823	11,277	
Zona medial del talón	Control	48,220	7,485	0,000**
	AP	41,571	8,941	
Zona lateral del talón	Control	45,583	7,396	0,001*
	AP	39,763	8,227	
DURACIÓN TOTAL DEL PASO (ms)	Control	523,333	66,429	0,143
	AP	503,706	62,679	

Tabla 14: Porcentaje de tiempo de apoyo de las distintas zonas del pie izquierdo y duración total del paso. * $p < 0,05$ ** $p < 0,001$

PORCENTAJE DE TIEMPO DE APOYO (%)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Primer dedo	Control	49,196	11,026	0,000**
	AP	58,420	12,622	
Dedos de 2° a 5°	Control	38,529	12,423	0,000**
	AP	50,028	11,822	
Primer metatarsiano	Control	69,695	8,173	0,000**
	AP	77,380	8,827	
Segundo metatarsiano	Control	75,690	6,472	0,000**
	AP	82,473	5,277	
Tercer metatarsiano	Control	77,323	6,855	0,000**
	AP	83,343	4,532	
Cuarto metatarsiano	Control	75,670	7,198	0,000**
	AP	80,334	5,348	
Quinto metatarsiano	Control	60,335	8,577	0,013*
	AP	65,334	10,164	
Mediopié	Control	57,056	7,862	0,000**
	AP	49,355	10,844	
Zona medial del talón	Control	50,608	6,659	0,000**
	AP	41,667	8,679	
Zona lateral del talón	Control	49,023	6,707	0,000**
	AP	40,348	8,567	
DURACIÓN TOTAL DEL PASO (ms)	Control	523,413	74,876	0,197
	AP	505,798	57,938	

Tabla 15: Porcentaje de tiempo de apoyo de las distintas zonas del pie derecho y duración total del paso. * $p < 0,05$ ** $p < 0,001$

El estudio del instante en el que comenzaban a ejercer presión las distintas zonas del pie demostró que en los AP se producía un apoyo de talón significativamente más tardío que en los niños del grupo control, junto con un apoyo precoz del mediopié, el antepié y los dedos, en un patrón cualitativamente simétrico entre ambos pies. Estas diferencias en las regiones anteriores se observan claramente en los Gráficos 8 y 9, mientras que en las Tablas 16 y 17 se reflejan los valores numéricos de las variables junto con los resultados del análisis estadístico.

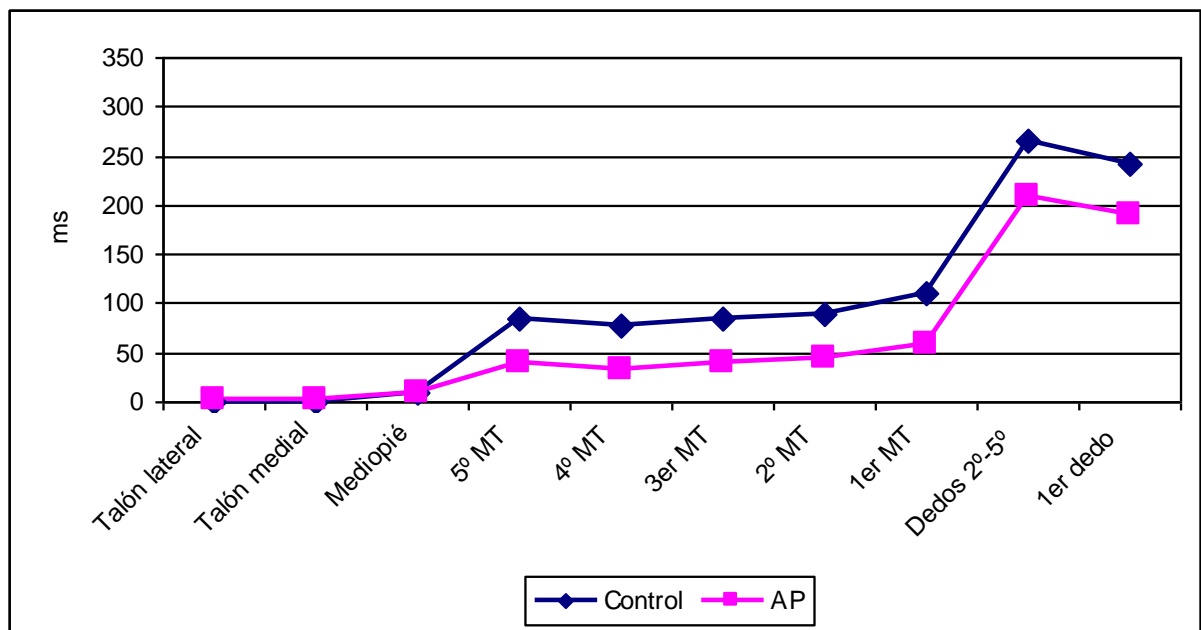


Gráfico 8: Tiempo de inicio de la presión bajo las distintas zonas del pie izquierdo.
MT: Metatarsiano

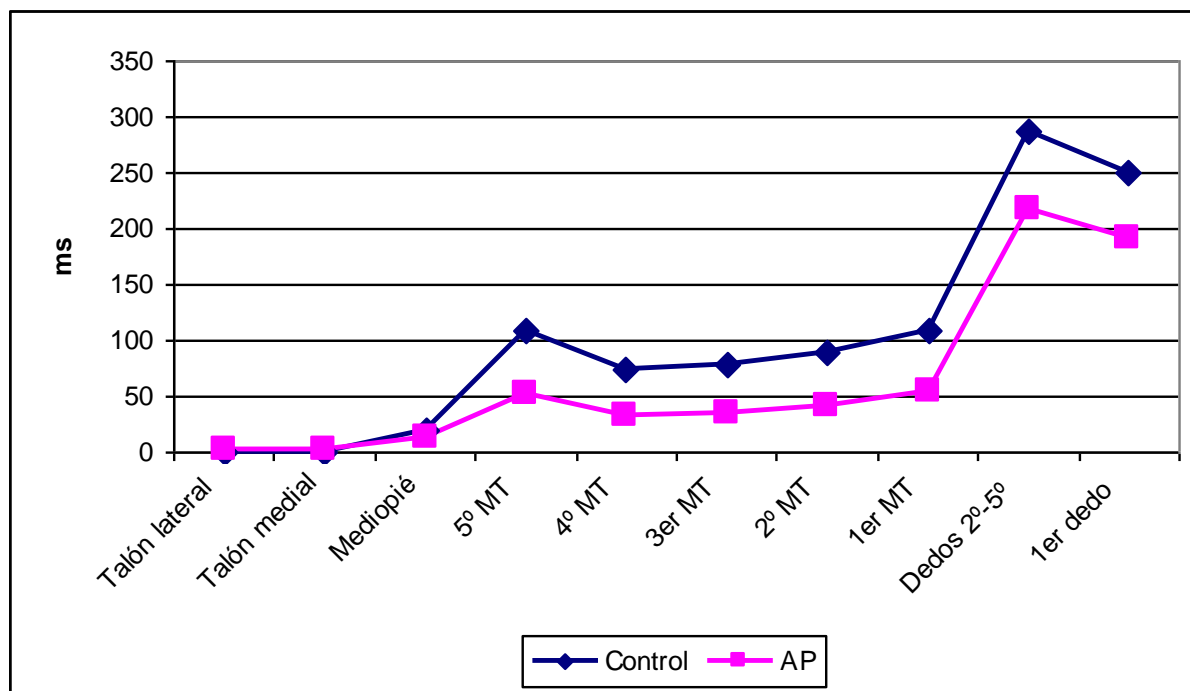


Gráfico 9: Tiempo de inicio de la presión bajo las distintas zonas del pie derecho.
MT: Metatarsiano

TIEMPO DE INICIO DE LA PRESIÓN (ms)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Primer dedo	Control	250,232	57,003	0,000**
	AP	193,432	65,668	
Dedos de 2° a 5°	Control	274,390	71,974	0,001*
	AP	222,026	72,740	
Primer metatarsiano	Control	108,546	40,721	0,000**
	AP	61,135	42,480	
Segundo metatarsiano	Control	90,115	37,149	0,000**
	AP	46,436	31,083	
Tercer metatarsiano	Control	81,482	33,605	0,000**
	AP	39,985	25,079	
Cuarto metatarsiano	Control	71,642	37,548	0,000**
	AP	32,887	21,292	
Quinto metatarsiano	Control	81,326	40,943	0,000**
	AP	40,221	24,608	
Mediopié	Control	10,404	10,274	0,506
	AP	9,095	8,852	
Zona medial del talón	Control	0,077	0,249	0,037*
	AP	1,459	4,838	
Zona lateral del talón	Control	0,150	0,413	0,048*
	AP	1,408	4,638	

Tabla 16: Tiempo de aplicación de la presión inicial con las distintas zonas del pie izquierdo.

* p<0,05 ** p<0,001

TIEMPO DE INICIO DE LA PRESIÓN (ms)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Primer dedo	Control	258,583	68,472	0,000**
	AP	197,454	68,468	
Dedos de 2° a 5°	Control	299,632	78,230	0,000**
	AP	225,541	66,162	
Primer metatarsiano	Control	109,991	43,465	0,000**
	AP	60,175	41,169	
Segundo metatarsiano	Control	89,243	34,840	0,000**
	AP	44,381	29,905	
Tercer metatarsiano	Control	78,597	37,089	0,000**
	AP	37,673	23,080	
Cuarto metatarsiano	Control	72,679	39,241	0,000**
	AP	34,222	22,792	
Quinto metatarsiano	Control	110,082	49,281	0,000**
	AP	56,109	37,391	
Mediopié	Control	19,862	12,785	0,036*
	AP	14,864	10,262	
Zona medial del talón	Control	0,123	0,366	0,027*
	AP	2,243	6,951	
Zona lateral del talón	Control	0,093	0,293	0,051
	AP	2,601	9,393	

Tabla 17: Tiempo de aplicación de la presión inicial con las distintas zonas del pie derecho.

* p<0,05 ** p<0,001

El patrón temporal de aplicación de la presión máxima con las diversas zonas del pie de los dos grupos de niños estudiados comenzaba en el talón seguido del mediopié, se continuaba por el quinto y el primer metatarsianos y seguía por el segundo, tercer y cuarto metatarsianos antes de llegar a los dedos de segundo a quinto y terminar en el dedo gordo, en una secuencia representada en los Gráficos 10 y 11. Aunque con una progresión cualitativamente similar, los AP mostraban un tiempo de realización de la presión máxima significativamente más temprano en todas las zonas estudiadas, cuyo valor medio y DE se detallan en las Tablas 18 y 19.

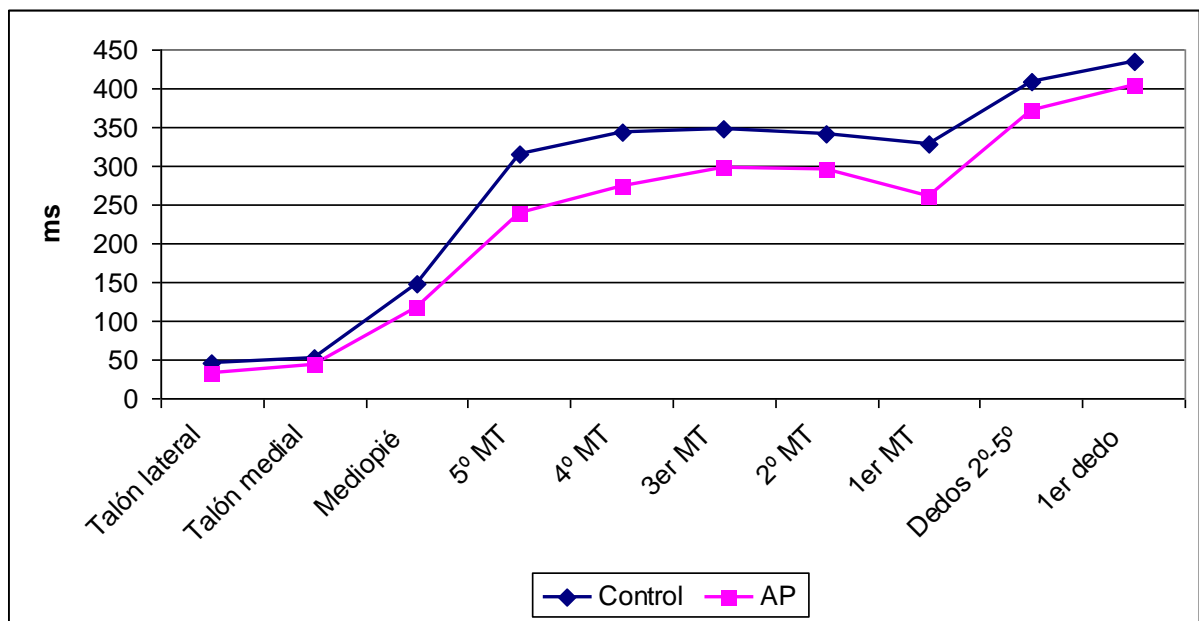


Gráfico 10: Tiempo de aplicación de la máxima presión bajo las distintas zonas del pie izquierdo.
MT: Metatarsiano

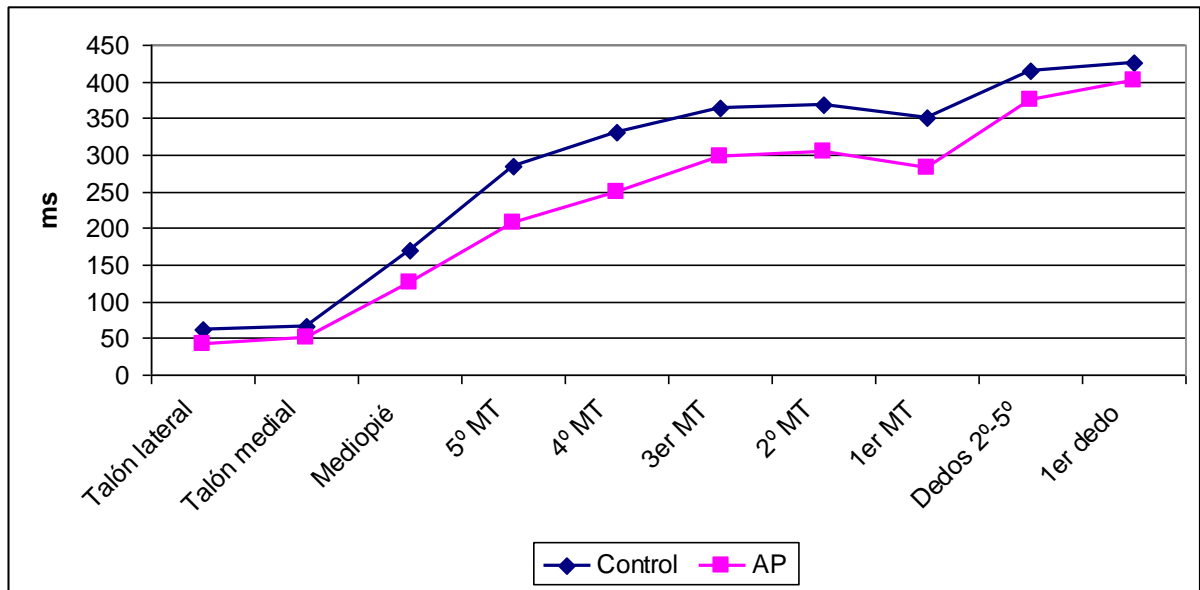


Gráfico 11: Tiempo de aplicación de la máxima presión bajo las distintas zonas del pie derecho.
MT: Metatarsiano

TIEMPO DE MÁXIMA PRESIÓN (ms)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Primer dedo	Control	440,537	61,583	0,043*
	AP	416,073	54,643	
Dedos de 2° a 5°	Control	427,992	63,983	0,012*
	AP	394,312	63,343	
Primer metatarsiano	Control	327,423	65,775	0,000**
	AP	270,849	66,172	
Segundo metatarsiano	Control	337,459	68,731	0,023*
	AP	303,915	70,942	
Tercer metatarsiano	Control	344,163	69,249	0,018*
	AP	307,752	75,815	
Cuarto metatarsiano	Control	337,995	71,477	0,000**
	AP	280,983	73,447	
Quinto metatarsiano	Control	308,486	72,041	0,000**
	AP	247,497	67,495	
Mediopié	Control	144,316	37,928	0,000**
	AP	115,832	31,460	
Zona medial del talón	Control	51,350	28,192	0,167
	AP	44,233	18,420	
Zona lateral del talón	Control	44,269	29,764	0,069
	AP	34,312	19,680	

Tabla 18: Instante de aplicación de la presión máxima en las distintas zonas del pie izquierdo.
* p<0,05 ** p<0,001

TIEMPO DE MÁXIMA PRESIÓN (ms)	GRUPO	MEDIA	DE	SIG.
Primer dedo	Control	445,900	61,228	0,026*
	AP	420,743	47,749	
Dedos de 2º a 5º	Control	434,698	61,284	0,002*
	AP	394,540	60,777	
Primer metatarsiano	Control	352,327	65,605	0,001*
	AP	306,216	61,957	
Segundo metatarsiano	Control	368,322	66,759	0,004*
	AP	327,394	66,556	
Tercer metatarsiano	Control	363,816	68,448	0,004*
	AP	323,164	63,773	
Cuarto metatarsiano	Control	330,966	76,987	0,000**
	AP	271,375	68,196	
Quinto metatarsiano	Control	296,045	72,061	0,000**
	AP	230,078	68,079	
Mediopié	Control	167,391	44,418	0,000**
	AP	128,021	41,475	
Zona medial del talón	Control	65,942	30,555	0,07
	AP	55,541	21,983	
Zona lateral del talón	Control	59,268	33,496	0,016*
	AP	43,927	24,111	

Tabla 19: Instante de aplicación de la presión máxima en las distintas zonas del pie derecho.

* p<0,05 ** p<0,001

7.5. CLASIFICACIÓN BAROPODOMÉTRICA DE LOS ANDADORES DE PUNTILLAS

Los AP se clasificaron en tres tipos a partir de su contacto inicial del pie, incluyéndose en el Tipo 1 (N=23) los niños que realizaban un choque inicial con el talón, en el Tipo 2 (N=27) los que efectuaban un contacto inicial variable y en el Tipo 3 (N=6) aquellos AP que mostraban un apoyo retrógrado del talón. El análisis baropodométrico demostró diferencias entre los tres tipos de AP para diversas variables, desvelando las características específicas de cada uno de los tres modelos de desarrollo del paso, que se evidenciaron al comparar cada uno de los tipos de AP con el grupo control.

El análisis de las presiones pico reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de AP en la presión pico producida por el primer metatarsiano del pie derecho y los metatarsianos del segundo al quinto del pie izquierdo, por el mediopié del pie izquierdo y por las zonas lateral y medial del talón de ambos pies.

PRESIÓN PICO (N/cm²)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Primer dedo	Tipo 1	10,339	3,866	0,375	12,726	0,005*
	Tipo 2	11,061	4,193			0,212
	Tipo 3	13,700	12,170			0,336
Dedos 2°-5°	Tipo 1	4,558	2,377	0,367	5,376	0,004*
	Tipo 2	4,009	1,704			0,044*
	Tipo 3	5,323	1,372			0,183
Primer metatarsiano	Tipo 1	7,739	3,300	0,249	6,853	0,234
	Tipo 2	7,519	3,392			0,984
	Tipo 3	10,072	3,466			0,019*
Segundo metatarsiano	Tipo 1	9,227	3,047	0,016*	8,159	0,147
	Tipo 2	8,223	2,812			0,995
	Tipo 3	12,390	3,387			0,003*
Tercer metatarsiano	Tipo 1	9,393	3,404	0,001*	8,999	0,571
	Tipo 2	8,746	2,948			0,935
	Tipo 3	14,670	3,648			0,002*
Cuarto metatarsiano	Tipo 1	8,850	2,566	0,017*	9,181	0,801
	Tipo 2	8,055	1,557			0,179
	Tipo 3	11,207	2,792			0,384
Quinto metatarsiano	Tipo 1	7,286	2,867	0,002*	7,840	0,432
	Tipo 2	6,601	1,474			0,035*
	Tipo 3	11,410	5,363			0,209
Mediopié	Tipo 1	11,046	4,267	0,003*	13,317	0,074
	Tipo 2	8,649	2,477			0,000**
	Tipo 3	5,675	3,243			0,032*
Zona medial del talón	Tipo 1	18,199	7,131	0,001*	18,992	0,778
	Tipo 2	12,651	3,758			0,000**
	Tipo 3	9,885	2,844			0,108
Zona lateral del talón	Tipo 1	13,847	4,627	0,000**	14,672	0,495
	Tipo 2	10,006	2,926			0,000**
	Tipo 3	7,592	2,247			0,065

Tabla 20: Presión pico registrada bajo las distintas zonas del pie izquierdo de los tres tipos de AP.

* p<0,05 ** p<0,001

PRESIÓN PICO (N/cm²)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Primer dedo	Tipo 1	11,074	4,891	0,565	13,552	0,026*
	Tipo 2	11,054	3,839			0,218
	Tipo 3	13,118	3,496			0,903
Dedos 2°-5°	Tipo 1	4,473	1,773	0,723	4,499	0,719
	Tipo 2	4,050	2,074			0,959
	Tipo 3	4,383	0,995			0,635
Primer metatarsiano	Tipo 1	8,359	3,137	0,000**	8,399	0,584
	Tipo 2	8,080	3,177			0,363
	Tipo 3	14,550	3,622			0,000**
Segundo metatarsiano	Tipo 1	9,463	2,802	0,216	9,868	0,437
	Tipo 2	9,624	4,160			0,367
	Tipo 3	12,312	5,426			0,663
Tercer metatarsiano	Tipo 1	9,640	3,389	0,459	9,719	0,787
	Tipo 2	9,327	2,726			0,308
	Tipo 3	11,232	4,366			0,927
Cuarto metatarsiano	Tipo 1	7,945	2,992	0,782	8,165	0,757
	Tipo 2	7,788	2,567			0,352
	Tipo 3	8,685	1,809			0,648
Quinto metatarsiano	Tipo 1	5,423	2,150	0,373	5,184	0,540
	Tipo 2	5,117	2,303			0,665
	Tipo 3	6,615	2,798			0,170
Mediopié	Tipo 1	8,118	2,970	0,180	10,469	0,017*
	Tipo 2	7,291	2,394			0,001*
	Tipo 3	5,828	3,637			0,538
Zona medial del talón	Tipo 1	16,700	7,447	0,013*	18,021	0,500
	Tipo 2	13,260	3,752			0,001*
	Tipo 3	9,293	1,849			0,027*
Zona lateral del talón	Tipo 1	14,447	5,435	0,001*	15,242	0,405
	Tipo 2	10,704	3,167			0,000**
	Tipo 3	7,583	2,405			0,003*

Tabla 21: Presión pico registrada bajo las distintas zonas del pie derecho de los tres tipos de AP.

* p<0,05 ** p<0,001

Las presiones medias máximas demostraron diferencias significativas entre los tres tipos de AP en los metatarsianos y el retropié, con algunas diferencias en el comportamiento de las zonas laterales y mediales de los dos pies.

PRESIÓN MEDIA MÁXIMA (N/cm²)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Primer dedo	Tipo 1	2,959	1,397	0,627	2,890	0,947
	Tipo 2	2,827	1,651			0,592
	Tipo 3	3,505	1,512			0,343
Dedos 2º-5º	Tipo 1	1,248	0,729	0,133	1,258	0,539
	Tipo 2	1,061	0,506			0,188
	Tipo 3	1,893	2,008			0,35
Primer metatarsiano	Tipo 1	2,793	1,196	0,023*	2,625	0,245
	Tipo 2	2,760	1,324			0,517
	Tipo 3	4,713	3,375			0,244
Segundo metatarsiano	Tipo 1	4,051	1,236	0,014*	3,599	0,092
	Tipo 2	3,677	1,202			0,94
	Tipo 3	5,503	1,849			0,22
Tercer metatarsiano	Tipo 1	4,503	1,220	0,001*	4,047	0,108
	Tipo 2	4,250	1,296			0,64
	Tipo 3	6,723	2,149			0,002*
Cuarto metatarsiano	Tipo 1	4,482	0,986	0,014*	4,334	0,496
	Tipo 2	4,304	1,217			0,652
	Tipo 3	6,008	2,164			0,049*
Quinto metatarsiano	Tipo 1	2,601	0,635	0,002*	2,629	0,892
	Tipo 2	2,726	1,133			0,721
	Tipo 3	4,938	3,652			0,239
Mediopié	Tipo 1	2,499	0,599	0,183	2,608	0,561
	Tipo 2	2,241	0,612			0,154
	Tipo 3	2,000	1,208			0,154
Zona medial del talón	Tipo 1	6,995	3,900	0,048*	6,689	0,546
	Tipo 2	5,099	1,813			0,002*
	Tipo 3	4,365	1,114			0,156
Zona lateral del talón	Tipo 1	5,254	3,077	0,137	4,583	0,147
	Tipo 2	3,717	1,990			0,023*
	Tipo 3	4,223	2,305			0,828

Tabla 22: Presión media máxima registrada bajo las distintas zonas del pie izquierdo de los tres tipos de AP.

* p<0,05

PRESIÓN MEDIA MÁXIMA (N/cm²)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Primer dedo	Tipo 1	2,876	0,945	0,152	2,981	0,461
	Tipo 2	2,911	1,556			0,705
	Tipo 3	3,997	1,857			0,118
Dedos 2°-5°	Tipo 1	1,269	0,764	0,027	1,087	0,37
	Tipo 2	1,087	0,753			0,43
	Tipo 3	2,183	1,476			0,281
Primer metatarsiano	Tipo 1	2,901	1,186	0,001*	2,656	0,258
	Tipo 2	2,627	1,083			0,158
	Tipo 3	5,442	3,797			0,215
Segundo metatarsiano	Tipo 1	4,088	0,972	0,002*	3,900	0,614
	Tipo 2	3,936	0,903			0,211
	Tipo 3	5,867	2,396			0,373
Tercer metatarsiano	Tipo 1	4,651	1,175	0,028*	4,310	0,464
	Tipo 2	4,369	1,052			0,362
	Tipo 3	6,033	2,396			0,556
Cuarto metatarsiano	Tipo 1	4,007	1,017	0,134	3,578	0,269
	Tipo 2	3,736	0,910			0,526
	Tipo 3	4,792	1,986			0,625
Quinto metatarsiano	Tipo 1	2,007	0,619	0,064	1,753	0,362
	Tipo 2	1,821	0,638			0,604
	Tipo 3	2,590	1,108			0,042*
Mediopié	Tipo 1	2,197	0,673	0,271	2,206	0,664
	Tipo 2	1,955	0,580			0,538
	Tipo 3	1,772	1,083			0,666
Zona medial del talón	Tipo 1	6,138	4,330	0,352	5,381	0,291
	Tipo 2	4,855	1,967			0,035
	Tipo 3	4,615	1,504			0,358
Zona lateral del talón	Tipo 1	4,850	1,518	0,012*	5,008	0,69
	Tipo 2	3,904	1,096			0,000**
	Tipo 3	3,383	0,985			0,003*

Tabla 23: Presión media máxima registrada bajo las distintas zonas del pie derecho de los tres tipos de AP.

* p<0,05 ** p<0,001

El porcentaje de contacto por regiones sólo demostró diferencias significativas en el antepié del pie izquierdo, en el cual los AP que realizaban un apoyo retrógrado del talón mostraron los valores más elevados.

PORCENTAJE DE CONTACTO (%)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Antepié izquierdo	Tipo 1	51,972	3,951	0,031*	53,483	0,358
	Tipo 2	51,110	2,943			0,000**
	Tipo 3	56,002	5,926			0,001*
Mediopié izquierdo	Tipo 1	32,041	4,676	0,187	32,309	0,492
	Tipo 2	33,774	4,604			0,025*
	Tipo 3	29,579	8,119			0,02*
Retropié izquierdo	Tipo 1	15,666	1,866	0,462	14,205	0,013*
	Tipo 2	15,320	2,636			0,291
	Tipo 3	14,301	4,200			0,579
CONTACTO TOTAL DEL PIE IZQUIERDO (cm²)	Tipo 1	71,339	22,901	0,937	70,286	0,768
	Tipo 2	69,394	16,596			0,771
	Tipo 3	68,793	30,807			0,644
Antepié derecho	Tipo 1	51,415	4,403	0,328	54,279	0,041*
	Tipo 2	51,692	4,169			0,001*
	Tipo 3	54,550	7,331			0,837
Mediopié derecho	Tipo 1	30,039	5,271	0,549	28,336	0,494
	Tipo 2	30,016	6,067			0,068
	Tipo 3	27,071	10,424			0,789
Retropié derecho	Tipo 1	18,220	2,400	0,983	17,386	0,307
	Tipo 2	18,321	2,973			0,646
	Tipo 3	18,104	3,677			0,812
CONTACTO TOTAL DEL PIE DERECHO (cm²)	Tipo 1	74,143	23,022	0,922	72,543	0,712
	Tipo 2	72,405	17,218			0,858
	Tipo 3	70,623	30,726			0,648

Tabla 24: Porcentajes de contacto para las distintas regiones de ambos pies de los tres tipos de AP.

* p<0,05 ** p<0,001

El porcentaje de impulso realizado por el antepié y el retropié de ambos pies resultó significativamente diferente entre los tres tipos de AP, entre los cuales se demostraron también diferencias estadísticamente significativas en el impulso total del pie.

PORCENTAJE DE IMPULSO (%)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Antepié izquierdo	Tipo 1	76,860	5,263	0,011*	72,612	0,005*
	Tipo 2	78,279	6,279			0,000**
	Tipo 3	84,812	5,484			0,000**
Mediopié izquierdo	Tipo 1	6,831	3,296	0,939	7,445	0,388
	Tipo 2	6,938	3,439			0,408
	Tipo 3	7,429	6,542			0,613
Retropié izquierdo	Tipo 1	16,535	3,601	0,000**	19,946	0,002*
	Tipo 2	14,783	4,652			0,000**
	Tipo 3	7,759	3,980			0,007*
IMPULSO TOTAL DEL PIE IZQUIERDO (N.s/cm²)	Tipo 1	6,852	1,946	0,001*	6,647	0,397
	Tipo 2	6,415	1,832			0,871
	Tipo 3	10,757	4,872			0,166
Antepié derecho	Tipo 1	75,428	5,345	0,005*	71,400	0,001*
	Tipo 2	76,134	5,669			0,001*
	Tipo 3	83,841	5,857			0,03*
Mediopié derecho	Tipo 1	7,109	3,828	0,805	6,777	0,919
	Tipo 2	7,149	3,963			0,349
	Tipo 3	5,979	5,194			0,992
Retropié derecho	Tipo 1	17,565	4,310	0,012*	21,821	0,000**
	Tipo 2	16,697	4,664			0,000**
	Tipo 3	11,097	6,265			0,021*
IMPULSO TOTAL DEL PIE DERECHO (N.s/cm²)	Tipo 1	6,523	1,779	0,003*	6,543	0,799
	Tipo 2	6,246	1,795			0,664
	Tipo 3	9,730	4,162			0,210

Tabla 25: Porcentajes de impulso para las distintas regiones de ambos pies de los tres tipos de AP.

* p<0,05 ** p<0,001

El porcentaje de tiempo de apoyo del talón, del segundo metatarsiano y el primer dedo de ambos pies y del mediopié y el tercer metatarsiano del pie izquierdo resultó significativamente diferente entre los tres tipos de AP. Entre ellos, además, el paso tuvo una duración significativamente diversa.

PORCENTAJE DE TIEMPO DE APOYO (%)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Primer dedo	Tipo 1	56,886	8,900	0,016*	50,386	0,026*
	Tipo 2	60,712	11,575			0,002*
	Tipo 3	70,435	12,216			0,000**
Dedos 2º-5º	Tipo 1	48,266	11,290	0,07	43,009	0,539
	Tipo 2	51,081	11,349			0,001*
	Tipo 3	60,295	12,591			0,001*
Primer metatarsiano	Tipo 1	74,278	8,152	0,096	66,679	0,000**
	Tipo 2	76,563	10,481			0,000**
	Tipo 3	83,025	6,693			0,000**
Segundo metatarsiano	Tipo 1	80,049	6,023	0,004*	73,179	0,000**
	Tipo 2	82,132	5,637			0,000**
	Tipo 3	88,797	2,774			0,000**
Tercer metatarsiano	Tipo 1	81,309	5,004	0,001*	75,583	0,000**
	Tipo 2	83,322	3,715			0,000**
	Tipo 3	89,313	2,430			0,000**
Cuarto metatarsiano	Tipo 1	81,731	3,735	0,094	76,670	0,000**
	Tipo 2	82,724	4,060			0,000**
	Tipo 3	85,907	6,763			0,01*
Quinto metatarsiano	Tipo 1	73,781	5,569	0,987	70,012	0,052
	Tipo 2	73,598	8,374			0,015*
	Tipo 3	73,282	10,295			0,321
Mediopié	Tipo 1	50,106	10,222	0,012*	57,145	0,007*
	Tipo 2	53,001	11,107			0,025*
	Tipo 3	37,813	10,490			0,000**
Zona medial del talón	Tipo 1	42,175	7,026	0,006*	48,220	0,006*
	Tipo 2	43,828	9,705			0,001*
	Tipo 3	31,033	8,903			0,124
Zona lateral del talón	Tipo 1	40,191	6,606	0,012*	45,583	0,007*
	Tipo 2	41,807	9,069			0,003*
	Tipo 3	30,810	8,059			0,162
DURACIÓN TOTAL DEL PASO (ms)	Tipo 1	488,824	55,341	0,016*	523,333	0,022*
	Tipo 2	506,904	59,413			0,226
	Tipo 3	567,460	76,096			0,885

Tabla 26: Porcentaje de tiempo de apoyo de las distintas zonas del pie izquierdo de los tres tipos de AP y duración total del paso.

* p<0,05 ** p<0,001

PORCENTAJE DE TIEMPO DE APOYO (%)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Primer dedo	Tipo 1	54,727	9,063	0,001*	49,196	0,335
	Tipo 2	59,241	14,255			0,001*
	Tipo 3	74,148	11,071			0,000**
Dedos 2°-5°	Tipo 1	47,656	10,232	0,064	38,529	0,030*
	Tipo 2	50,636	12,779			0,001*
	Tipo 3	59,857	12,582			0,001*
Primer metatarsiano	Tipo 1	76,057	8,502	0,065	69,695	0,000**
	Tipo 2	77,026	9,443			0,000**
	Tipo 3	85,172	3,888			0,000**
Segundo metatarsiano	Tipo 1	81,250	4,919	0,027*	75,690	0,000**
	Tipo 2	82,819	5,519			0,000**
	Tipo 3	87,432	3,355			0,000**
Tercer metatarsiano	Tipo 1	82,480	4,593	0,076	77,323	0,000**
	Tipo 2	83,533	4,119			0,000**
	Tipo 3	87,028	4,266			0,000**
Cuarto metatarsiano	Tipo 1	80,141	5,373	0,555	75,670	0,007*
	Tipo 2	81,167	4,933			0,000**
	Tipo 3	78,527	6,912			0,059
Quinto metatarsiano	Tipo 1	65,507	10,446	0,354	60,335	0,143
	Tipo 2	66,714	8,656			0,002*
	Tipo 3	59,870	13,236			0,611
Mediopié	Tipo 1	50,084	10,933	0,098	57,056	0,012*
	Tipo 2	50,937	10,132			0,000**
	Tipo 3	40,432	10,065			0,000**
Zona medial del talón	Tipo 1	43,143	6,982	0,016*	50,608	0,000**
	Tipo 2	42,253	8,423			0,001*
	Tipo 3	32,333	12,539			0,03*
Zona lateral del talón	Tipo 1	41,840	7,077	0,011*	49,023	0,000**
	Tipo 2	40,994	7,892			0,001*
	Tipo 3	30,737	12,420			0,04*
DURACIÓN TOTAL DEL PASO (ms)	Tipo 1	490,837	57,844	0,029*	523,413	0,012*
	Tipo 2	513,104	46,174			0,274
	Tipo 3	556,245	69,327			0,933

Tabla 27: Porcentaje de tiempo de apoyo de las distintas zonas del pie derecho de los tres tipos de AP y duración total del paso.

* p<0,05 ** p<0,001

El estudio del tiempo de aplicación inicial de la presión con las distintas zonas del pie, variable utilizada para clasificar el modelo de desarrollo del paso de los AP, demostró el retraso progresivo del apoyo de talón en los tres patrones de marcha de puntillas idiopática y el adelantamiento gradual del apoyo de los metatarsianos y los dedos, con una ligera asimetría entre ambos pies.

TIEMPO DE INICIO (ms)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Primer dedo	Tipo 1	203,061	51,786	0,285	250,232	0,004*
	Tipo 2	189,899	78,181			0,001*
	Tipo 3	157,062	80,379			0,000**
Dedos 2º-5º	Tipo 1	229,069	63,356	0,515	274,390	0,07
	Tipo 2	220,681	79,211			0,001*
	Tipo 3	191,290	98,187			0,003*
Primer metatarsiano	Tipo 1	66,920	34,868	0,099	108,546	0,000**
	Tipo 2	62,862	53,114			0,000**
	Tipo 3	26,457	20,556			0,000**
Segundo metatarsiano	Tipo 1	51,758	25,684	0,019*	90,115	0,000**
	Tipo 2	48,321	36,604			0,000**
	Tipo 3	13,542	15,075			0,000**
Tercer metatarsiano	Tipo 1	45,372	22,394	0,002*	81,482	0,000**
	Tipo 2	41,520	25,558			0,000**
	Tipo 3	7,930	10,547			0,000**
Cuarto metatarsiano	Tipo 1	37,613	18,630	0,001*	71,642	0,000**
	Tipo 2	34,478	21,705			0,000**
	Tipo 3	3,958	5,959			0,000**
Quinto metatarsiano	Tipo 1	44,224	20,190	0,003*	81,326	0,000**
	Tipo 2	43,702	26,869			0,000**
	Tipo 3	8,607	14,465			0,000**
Mediopié	Tipo 1	9,117	8,500	0,08	10,404	0,674
	Tipo 2	6,943	4,873			0,113
	Tipo 3	16,155	16,562			0,584
Zona medial del talón	Tipo 1	0,011	0,052	0,000**	0,077	0,038*
	Tipo 2	0,819	1,212			0,171
	Tipo 3	10,833	11,496			0,053
Zona lateral del talón	Tipo 1	0,000	0,000	0,000**	0,150	0,065
	Tipo 2	0,844	1,287			0,009*
	Tipo 3	10,330	11,027			0,076

Tabla 28: Tiempo de aplicación de la presión inicial con las distintas zonas del pie izquierdo de los tres tipos de AP.

* p<0,05 ** p<0,001

TIEMPO DE INICIO (ms)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Primer dedo	Tipo 1	212,228	50,881	0,018*	258,583	0,03*
	Tipo 2	196,387	82,152			0,001*
	Tipo 3	127,137	60,484			0,000**
Dedos 2°-5°	Tipo 1	235,857	60,378	0,141	299,632	0,005*
	Tipo 2	224,517	71,328			0,001*
	Tipo 3	177,372	65,171			0,001*
Primer metatarsiano	Tipo 1	65,461	36,593	0,04*	109,991	0,000**
	Tipo 2	64,194	47,218			0,000**
	Tipo 3	20,343	16,403			0,000**
Segundo metatarsiano	Tipo 1	49,020	23,000	0,008*	89,243	0,000**
	Tipo 2	47,895	36,442			0,000**
	Tipo 3	9,477	9,060			0,000**
Tercer metatarsiano	Tipo 1	41,424	18,611	0,001*	78,597	0,000**
	Tipo 2	41,424	25,665			0,000**
	Tipo 3	6,413	5,864			0,000**
Cuarto metatarsiano	Tipo 1	37,811	20,243	0,003*	72,679	0,000**
	Tipo 2	37,448	24,010			0,000**
	Tipo 3	5,523	6,291			0,000**
Quinto metatarsiano	Tipo 1	61,362	36,824	0,006*	110,082	0,000**
	Tipo 2	61,658	34,057			0,000**
	Tipo 3	11,350	20,330			0,000**
Mediopié	Tipo 1	15,380	11,132	0,676	19,862	0,033*
	Tipo 2	15,153	9,919			0,051
	Tipo 3	11,323	6,977			0,034*
Zona medial del talón	Tipo 1	0,008	0,044	0,000**	0,123	0,07
	Tipo 2	1,639	2,362			0,003*
	Tipo 3	15,430	16,436			0,122
Zona lateral del talón	Tipo 1	0,004	0,020	0,000**	0,093	0,009*
	Tipo 2	1,479	2,037			0,005*
	Tipo 3	19,328	23,946			0,188

Tabla 29: Tiempo de aplicación de la presión inicial con las distintas zonas del pie derecho de los tres tipos de AP.

* p<0,05 ** p<0,001

Al analizar el instante de aplicación de la presión máxima bajo cada una de las zonas del pie sólo se demostraron diferencias significativas entre los tres tipos de AP en el quinto metatarsiano del pie derecho y en la zona lateral del talón de los dos pies.

TIEMPO DE APLICACIÓN DE LA PRESIÓN MÁXIMA (ms)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Primer dedo	Tipo 1	401,880	48,696	0,055	440,537	0,005*
	Tipo 2	425,637	56,424			0,218
	Tipo 3	455,163	59,873			0,456
Dedos 2º-5º	Tipo 1	386,837	54,655	0,574	427,992	0,139
	Tipo 2	399,590	68,526			0,036*
	Tipo 3	414,095	89,724			0,252
Primer metatarsiano	Tipo 1	265,048	55,601	0,771	327,423	0,001*
	Tipo 2	278,974	76,339			0,000**
	Tipo 3	272,775	87,292			0,006*
Segundo metatarsiano	Tipo 1	296,671	62,238	0,372	337,459	0,021*
	Tipo 2	303,442	66,814			0,005*
	Tipo 3	341,715	117,894			0,382
Tercer metatarsiano	Tipo 1	302,562	65,343	0,509	344,163	0,009*
	Tipo 2	305,282	76,328			0,003*
	Tipo 3	341,942	121,387			0,272
Cuarto metatarsiano	Tipo 1	284,517	65,637	0,299	337,995	0,001*
	Tipo 2	288,876	78,621			0,001*
	Tipo 3	237,002	90,651			0,000**
Quinto metatarsiano	Tipo 1	248,047	61,735	0,094	308,486	0,001*
	Tipo 2	262,580	71,212			0,000**
	Tipo 3	194,472	66,709			0,000**
Mediopié	Tipo 1	113,156	30,104	0,163	144,316	0,000**
	Tipo 2	124,939	29,833			0,004*
	Tipo 3	98,853	39,088			0,059
Zona medial del talón	Tipo 1	39,390	16,071	0,102	51,350	0,05
	Tipo 2	49,299	20,031			0,321
	Tipo 3	51,565	20,037			0,986
Zona lateral del talón	Tipo 1	27,877	15,791	0,018*	44,269	0,005*
	Tipo 2	39,766	21,329			0,032*
	Tipo 3	48,308	21,978			0,875

Tabla 30: Tiempo de aplicación de la máxima presión en las distintas zonas del pie izquierdo de los tres tipos de AP.

* p<0,05 ** p<0,001

TIEMPO DE APLICACIÓN DE LA PRESIÓN MÁXIMA (ms)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Primer dedo	Tipo 1	408,195	43,892	0,072	445,900	0,180
	Tipo 2	430,855	41,252			0,224
	Tipo 3	449,773	71,238			0,253
Dedos 2°-5°	Tipo 1	382,897	61,724	0,173	434,698	0,016*
	Tipo 2	400,979	56,827			0,071
	Tipo 3	431,298	60,523			0,422
Primer metatarsiano	Tipo 1	309,957	63,867	0,484	352,327	0,02*
	Tipo 2	294,463	64,407			0,000**
	Tipo 3	326,685	40,793			0,007*
Segundo metatarsiano	Tipo 1	322,627	67,634	0,585	368,322	0,007*
	Tipo 2	339,164	53,328			0,001*
	Tipo 3	311,998	102,050			0,095
Tercer metatarsiano	Tipo 1	319,842	61,634	0,215	363,816	0,002*
	Tipo 2	338,716	50,260			0,002*
	Tipo 3	287,933	102,874			0,043*
Cuarto metatarsiano	Tipo 1	275,172	62,593	0,078	330,966	0,001*
	Tipo 2	283,121	67,561			0,000**
	Tipo 3	213,232	79,962			0,000**
Quinto metatarsiano	Tipo 1	235,710	62,107	0,042*	296,045	0,003*
	Tipo 2	241,162	69,157			0,000**
	Tipo 3	164,970	68,316			0,000**
Mediopié	Tipo 1	124,525	35,000	0,1	167,391	0,000**
	Tipo 2	141,107	45,824			0,004*
	Tipo 3	101,887	47,534			0,000**
Zona medial del talón	Tipo 1	51,396	18,729	0,138	65,942	0,009*
	Tipo 2	57,281	16,418			0,036*
	Tipo 3	70,460	43,298			0,358
Zona lateral del talón	Tipo 1	34,611	17,483	0,003*	59,268	0,000**
	Tipo 2	52,180	21,001			0,091
	Tipo 3	62,997	41,428			0,438

Tabla 31: Tiempo de aplicación de la máxima presión en las distintas zonas del pie derecho de los tres tipos de AP.

* p<0,05 ** p<0,001

En las características descriptivas y clínicas, sólo se demostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de AP en el peso y la dorsiflexión de ambos tobillos, en la medición con la rodilla flexionada.

VARIABLE (UNIDAD)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Edad (meses)	Tipo 1	55,730	11,289	0,453	56,55	0,768
	Tipo 2	52,100	10,407			0,194
	Tipo 3	58,170	20,721			0,448
Peso (kg)	Tipo 1	19,477	3,252	0,031*	18,560	0,108
	Tipo 2	18,680	3,437			0,900
	Tipo 3	22,883	3,363			0,022*
Altura (m)	Tipo 1	1,091	0,070	0,063	1,075	0,343
	Tipo 2	1,061	0,090			0,522
	Tipo 3	1,151	0,098			0,023*
IMC	Tipo 1	16,287	1,561	0,256	15,939	0,080
	Tipo 2	16,444	0,800			0,157
	Tipo 3	17,390	2,560			0,578

Tabla 32: Características descriptivas de los tres tipos de AP.

* $p < 0,05$

MEDICIÓN (UNIDAD)	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Ángulo poplíteo, izquierdo (°)	Tipo 1	150,960	13,993	0,966	148,40	0,879
	Tipo 2	151,160	13,351			0,086
	Tipo 3	152,670	19,044			0,869
Ángulo poplíteo, derecho (°)	Tipo 1	151,300	13,917	0,959	147,73	0,723
	Tipo 2	151,420	13,930			0,021*
	Tipo 3	153,170	19,783			0,960
Flexión dorsal del tobillo con rodilla extendida, izquierda (°)	Tipo 1	100,300	7,518	0,128	103,20	0,130
	Tipo 2	102,790	9,824			0,808
	Tipo 3	94,830	5,231			0,008*
Flexión dorsal del tobillo con rodilla extendida, derecha (°)	Tipo 1	98,220	7,658	0,211	99,33	0,345
	Tipo 2	101,050	8,935			0,289
	Tipo 3	94,670	6,408			0,074
Flexión dorsal del tobillo con rodilla flexionada, izquierda (°)	Tipo 1	115,740	8,751	0,003*	121,25	0,02*
	Tipo 2	119,470	7,799			0,228
	Tipo 3	105,000	10,714			0,000**
Flexión dorsal del tobillo con rodilla flexionada, derecha (°)	Tipo 1	113,780	8,252	0,03*	120,13	0,016*
	Tipo 2	116,840	9,039			0,024*
	Tipo 3	105,830	8,448			0,000**
Posición relajada del calcáneo en carga, izquierdo (°)	Tipo 1	5,670	4,528	0,860	3,55	0,244
	Tipo 2	6,000	3,987			0,000**
	Tipo 3	6,670	2,805			0,003*
Posición relajada del calcáneo en carga, derecho (°)	Tipo 1	5,870	4,100	0,749	4,08	0,323
	Tipo 2	6,100	3,194			0,001*
	Tipo 3	7,170	4,215			0,126
Ángulo de pronación izquierdo (°)	Tipo 1	8,430	4,967	0,642	6,45	0,272
	Tipo 2	8,700	5,121			0,006*
	Tipo 3	10,500	3,391			0,002*
Ángulo de pronación derecho (°)	Tipo 1	8,270	3,279	0,335	7,45	0,785
	Tipo 2	9,200	3,563			0,031*
	Tipo 3	10,330	3,445			0,049*
Test de la caída del navicular izquierdo (mm)	Tipo 1	4,400	3,223	0,546	2,55	0,09
	Tipo 2	3,450	2,605			0,005*
	Tipo 3	4,330	3,502			0,125
Test de la caída del navicular derecho (mm)	Tipo 1	4,370	2,512	0,861	2,43	0,001*
	Tipo 2	3,950	2,704			0,000**
	Tipo 3	4,330	3,502			0,068

Tabla 33: Resultados de la evaluación clínica del miembro inferior en los tres tipos de AP.

*p<0,05 ** p<0,001

La valoración de los centiles obtenidos en el CUMANIN solamente reveló diferencias significativas entre los tres tipos de AP estudiados para la escala de Psicomotricidad.

ESCALAS Y NIVELES DE DESARROLLO	TIPO AP	MEDIA	DE	SIG.	MEDIA CONTROL	SIG. TIPO AP/ CONTROL
Psicomotricidad	Tipo 1	36,370	26,009	0,047*	71,50	0,85
	Tipo 2	18,630	17,192			0,049*
	Tipo 3	33,000	32,901			0,057
Lenguaje Articulatorio	Tipo 1	44,330	23,735	0,824	60,00	0,356
	Tipo 2	48,160	22,498			0,493
	Tipo 3	49,000	27,249			0,576
Lenguaje Expresivo	Tipo 1	54,340	28,596	0,180	67,35	0,387
	Tipo 2	69,160	29,233			0,883
	Tipo 3	70,800	32,836			0,973
Lenguaje Comprensivo	Tipo 1	61,110	26,410	0,237	65,00	0,918
	Tipo 2	60,950	26,538			0,422
	Tipo 3	40,000	20,000			0,577
Estructuración Espacial	Tipo 1	60,000	28,762	0,562	52,78	0,381
	Tipo 2	67,050	29,041			0,143
	Tipo 3	52,800	36,355			0,721
Visopercepción	Tipo 1	53,820	26,523	0,915	70,75	0,428
	Tipo 2	55,840	26,209			0,328
	Tipo 3	58,800	27,788			0,43
Memoria	Tipo 1	69,390	22,768	0,319	91,25	0,08
	Tipo 2	70,530	24,181			0,069
	Tipo 3	52,800	28,665			0,019*
Ritmo	Tipo 1	41,110	31,401	0,670	49,75	0,447
	Tipo 2	46,420	23,817			0,629
	Tipo 3	35,000	17,321			0,091
Fluidez Verbal	Tipo 1	74,180	29,497	0,186	97,00	0,41
	Tipo 2	86,780	19,170			0,129
	Tipo 3	67,800	23,274			0,357
Atención	Tipo 1	33,390	18,859	0,369	52,67	0,098
	Tipo 2	42,050	23,382			0,554
	Tipo 3	40,000	22,638			0,591
DESARROLLO VERBAL	Tipo 1	38,930	22,540	0,192	79,54	0,05
	Tipo 2	48,160	21,096			0,075
	Tipo 3	31,000	15,166			0,001*
DESARROLLO NO VERBAL	Tipo 1	53,570	28,637	0,755	81,70	0,089
	Tipo 2	51,840	27,287			0,07
	Tipo 3	43,000	37,350			0,084
DESARROLLO TOTAL	Tipo 1	41,000	23,454	0,356	77,44	0,051
	Tipo 2	48,950	26,645			0,06
	Tipo 3	33,000	23,345			0,011*
COCIENTE DE DESARROLLO	Tipo 1	97,540	10,419	0,506	124,00	0,057
	Tipo 2	98,050	12,852			0,068
	Tipo 3	91,200	16,316			0,035*

Tabla 34: Centiles obtenidos por los tres tipos de AP en las diversas escalas y niveles de desarrollo del CUMANIN y valor de su Cociente de Desarrollo. *p<0,05

7.6. ÁRBOLES DE DECISIÓN

En los AP, la principal variable predictora del valor de la posición relajada del calcáneo izquierdo en carga fue la flexión dorsal del tobillo izquierdo con la rodilla extendida ($R^2 = 0,271$).

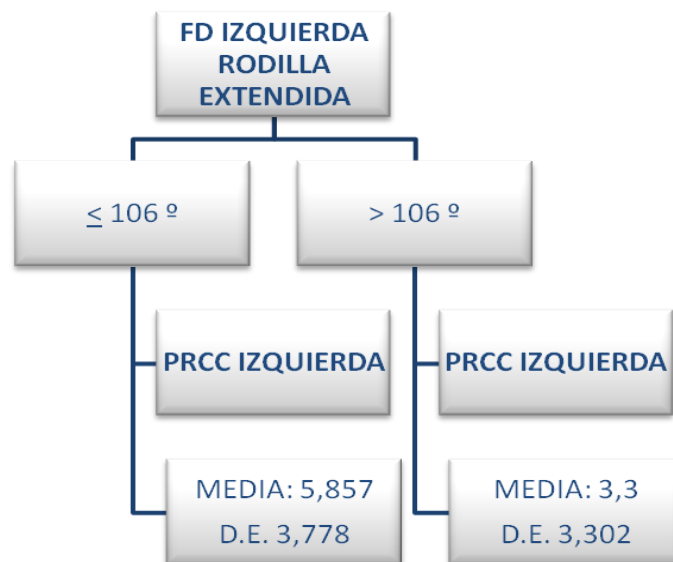


Figura 25: Árbol de predicción de la posición relajada del calcáneo izquierdo en carga en los AP.

FD: Flexión dorsal del tobillo (°)

PRCC: Posición relajada del calcáneo en carga (°)

Este valor no pudo ser explicado por medio de ninguna de las variables siguientes, referidas al mismo pie: la FD del tobillo con la rodilla flexionada, el ángulo poplíteo, el porcentaje de impulso del retropié, la máxima presión ni la presión pico del retropié medial ni lateral, el porcentaje de tiempo de apoyo de la zona medial ni lateral del talón, el ángulo de marcha, la edad, el centil de la prueba de Psicomotricidad ni el de Desarrollo Total. El valor de la PRCC derecha en los AP no pudo predecirse por medio de ninguna de las variables estudiadas.

En los niños del grupo control, no fue posible explicar el valor de la PRCC a partir de ninguna de las variables anteriormente indicadas, ni en el pie derecho ni en el izquierdo.

En los AP, la principal variable predictora del valor de la flexión dorsal del tobillo izquierdo con la rodilla extendida fue el centil de Desarrollo Total del CUMANIN ($R^2 = 0,293$).

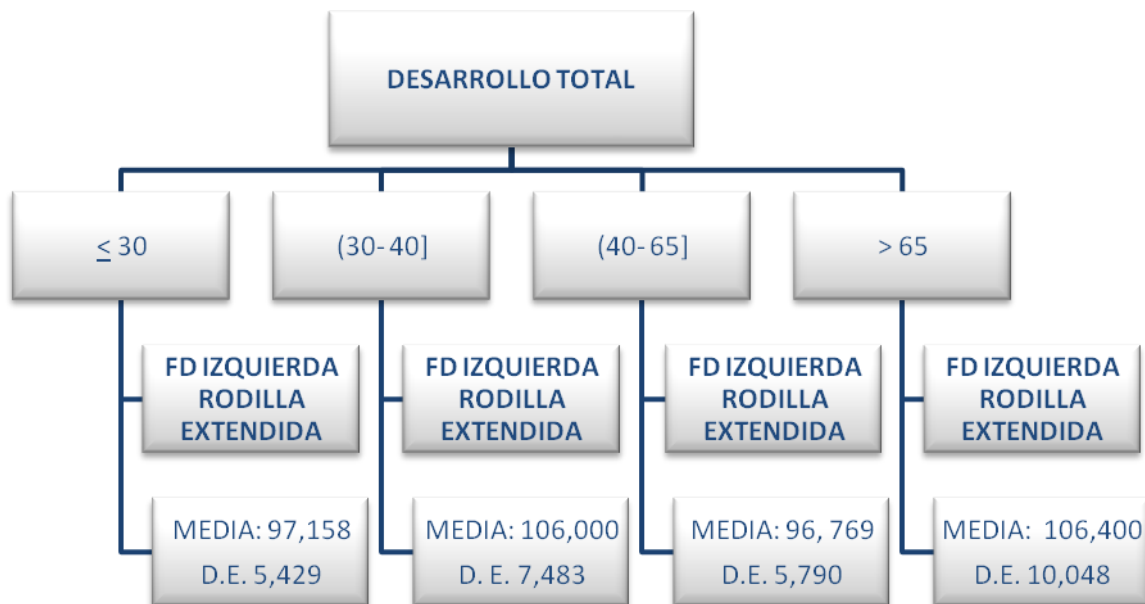


Figura 26: Árbol de predicción de la flexión dorsal del tobillo izquierdo con la rodilla extendida en los AP.

FD: Flexión dorsal del tobillo (°)

Esta variable no pudo ser explicada por ninguna de las siguientes, referidas al mismo pie: la PRCC, la FD del tobillo con la rodilla flexionada, el ángulo poplíteo, el porcentaje de impulso del retropié, la máxima presión ni la presión pico del retropié medial ni lateral, el porcentaje de tiempo de apoyo de la zona medial ni lateral del talón, el ángulo de marcha, la edad, ni el centil de la prueba de Psicomotricidad.

En los niños del grupo control, el valor de la flexión dorsal del tobillo izquierdo con la rodilla extendida no pudo predecirse a partir de ninguna de las variables anteriormente indicadas.

En los AP, la principal variable predictora del valor de la flexión dorsal del tobillo derecho con la rodilla extendida fue el centil de Desarrollo Total del CUMANIN y, en los niños con un centil inferior a 65, también la presión pico bajo la zona lateral del talón del mismo pie, medida en N/cm² ($R^2 = 0,492$).

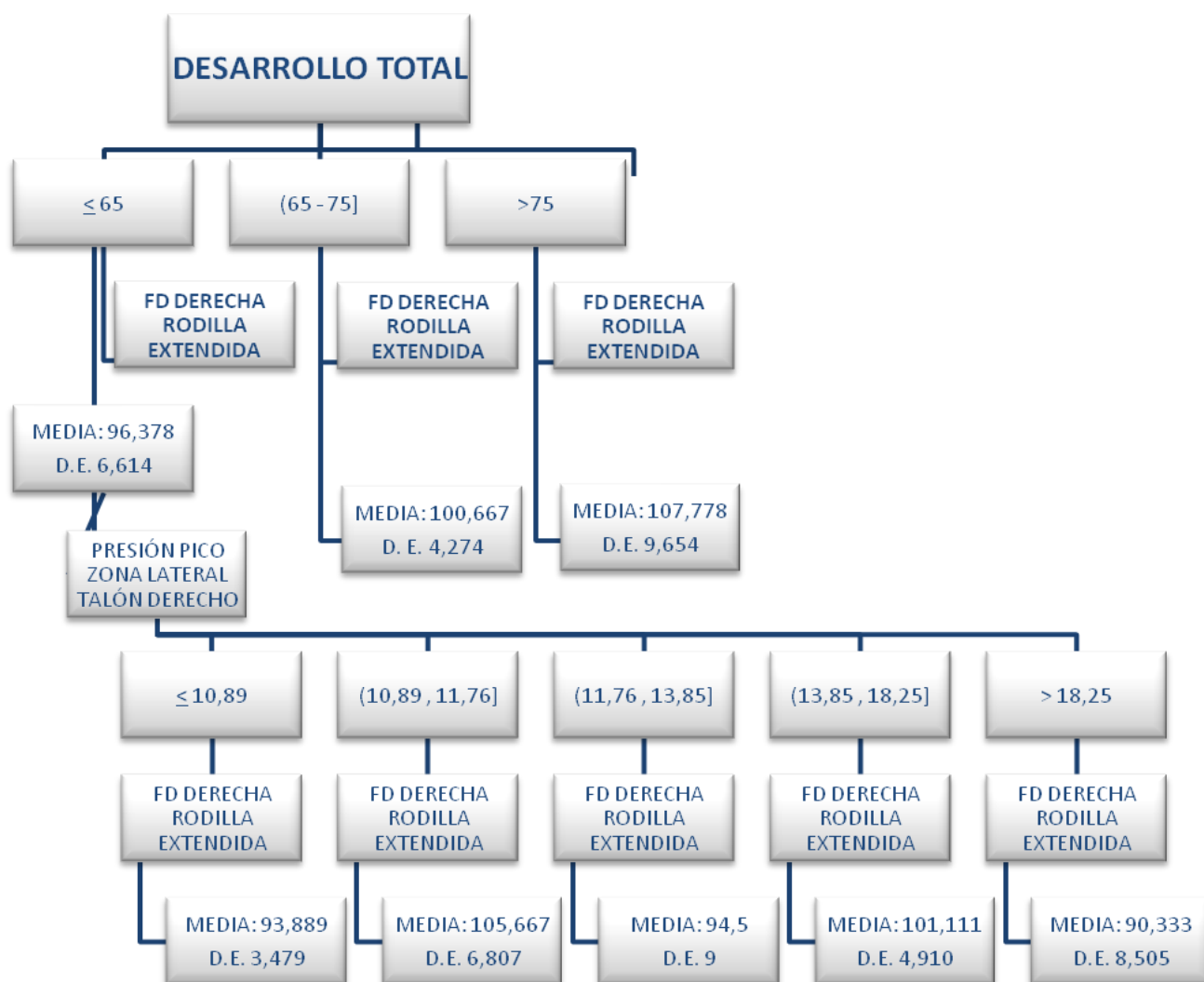


Figura 27: Árbol de predicción de la flexión dorsal del tobillo derecho con la rodilla extendida en los AP.

FD: Flexión dorsal del tobillo (°)

Este valor no pudo ser explicado por medio de ninguna de las variables siguientes, referidas al mismo pie: la PRCC, la FD del tobillo con la rodilla flexionada, el ángulo poplíteo, el porcentaje de impulso del retropié, la máxima presión ni la presión pico del retropié medial ni lateral, el porcentaje de tiempo de apoyo de la zona medial ni lateral del talón, el ángulo de marcha, la edad ni el centil de la prueba de Psicomotricidad.

En los niños del grupo control, el valor de la FD del tobillo derecho con la rodilla extendida no pudo predecirse a partir de ninguna de las variables anteriormente indicadas.

En los AP, la principal variable predictora del porcentaje de impulso del retropié izquierdo fue el porcentaje de impulso del antepié izquierdo ($R^2 = 0,579$).

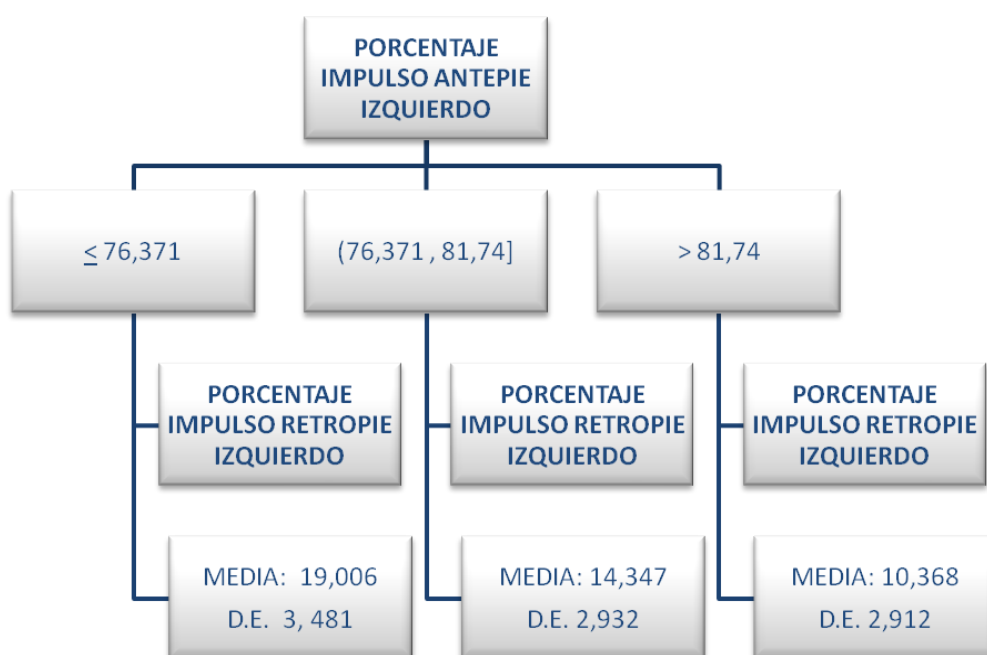


Figura 28: Árbol de predicción del porcentaje de impulso del retropié izquierdo, en los AP.

Esta variable no pudo predecirse a partir de ninguna de las siguientes, referidas al mismo pie: el porcentaje de impulso del mediopié ni del antepié, la máxima presión ni la presión pico del retropié medial ni lateral, el porcentaje de tiempo de apoyo de la zona medial ni lateral del talón, el ángulo de marcha, la edad, el centil de la prueba de Psicomotricidad ni el de Desarrollo Total.

En los niños del grupo control, la principal variable predictora del porcentaje de impulso del retropié izquierdo fue el porcentaje de impulso del antepié izquierdo ($R^2 = 0,829$).

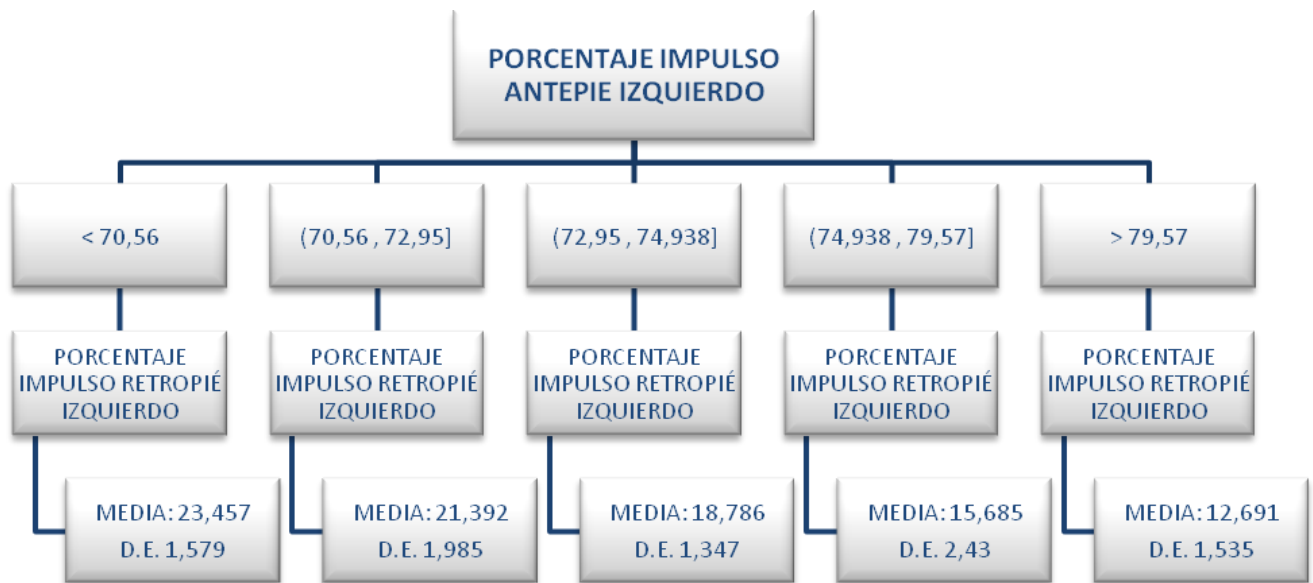


Figura 29: Árbol de predicción del porcentaje de impulso del retropié izquierdo, en los niños del grupo control.

Este valor no pudo ser explicado por el porcentaje de impulso del mediopié ni del antepié, la máxima presión ni la presión pico del retropié medial ni lateral, el porcentaje de tiempo de apoyo de la zona medial ni lateral del talón, el ángulo de marcha, la edad, el centil de la prueba de Psicomotricidad ni el de Desarrollo Total.

En los AP, la principal variable predictora del porcentaje de impulso del retropié derecho fue el porcentaje de tiempo de apoyo de la zona lateral del talón derecho ($R^2 = 0,618$).

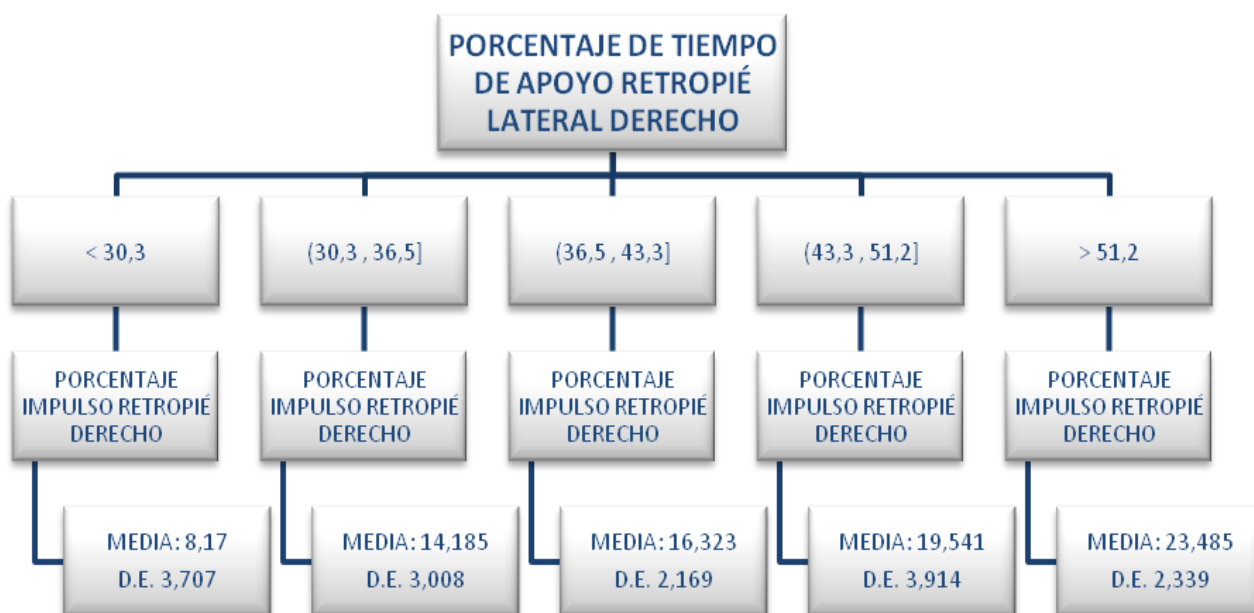


Figura 30: Árbol de predicción del porcentaje de impulso del retropié derecho, en los AP.

Esta variable no pudo ser explicada por ninguna de las siguientes, referidas al mismo pie: el porcentaje de impulso del mediopié ni del antepié, la máxima presión ni la presión pico del retropié medial ni lateral, el porcentaje de tiempo de apoyo de la zona medial del talón, el ángulo de marcha, la edad, el centil de la prueba de Psicomotricidad ni el de Desarrollo Total.

En los niños del grupo control, la principal variable predictora del porcentaje de impulso del retropié derecho fue el porcentaje de impulso del antepié derecho, además de que en los niños con un impulso de antepié inferior al 67,5% el porcentaje de tiempo de apoyo de la zona lateral del talón permitió diferenciar dos subgrupos y en los niños con un porcentaje de impulso del antepié mayor de 67,5% y de hasta el 73,338% el porcentaje de impulso del mediopié posibilitó la realización de dos nuevas subdivisiones ($R^2 = 0,875$).

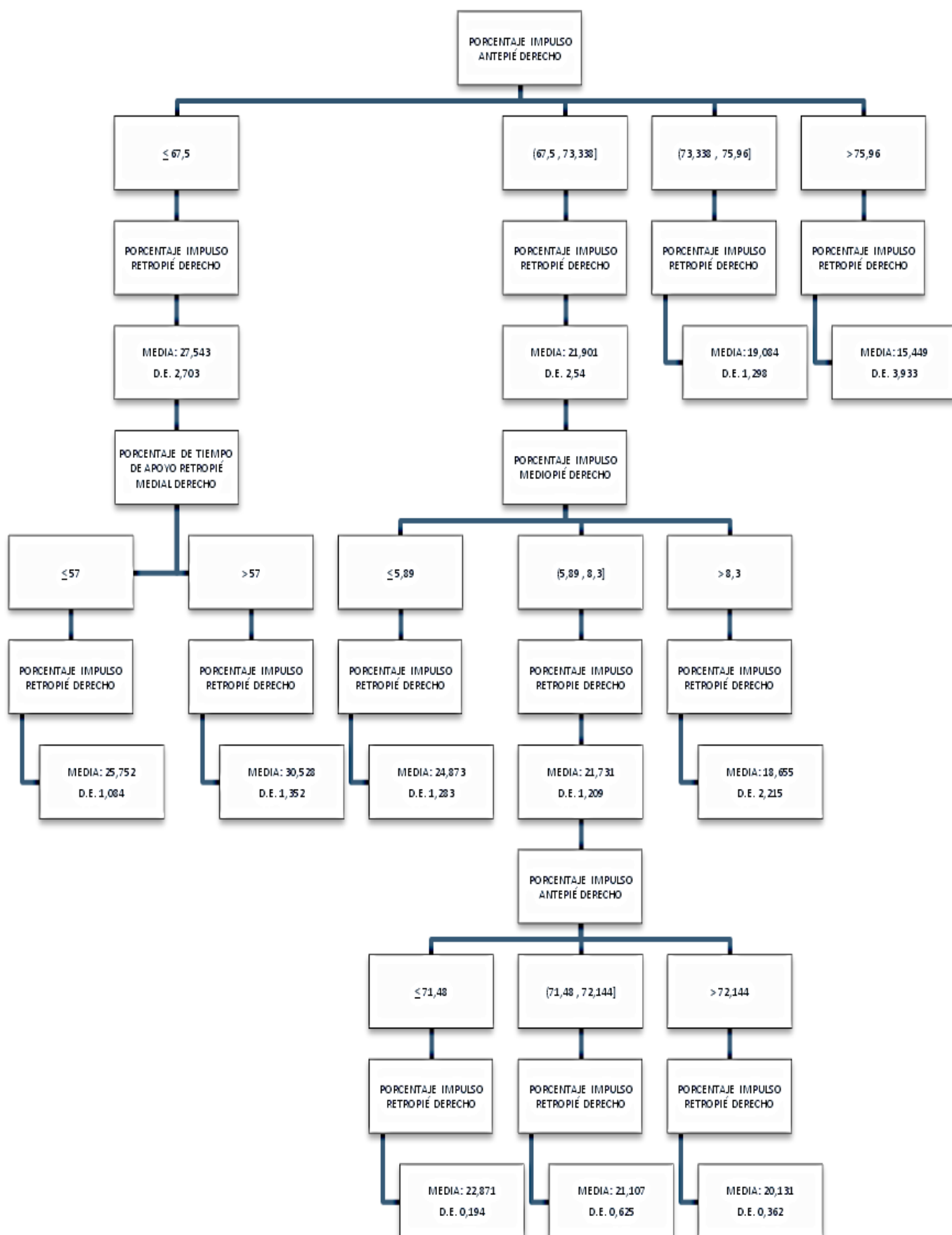


Figura 31: Árbol de predicción del porcentaje de impulso del retropié derecho, en los niños del grupo control.

Este valor no pudo ser explicado por la máxima presión ni la presión pico del retropié medial ni lateral, el porcentaje de tiempo de apoyo de la zona medial del talón, el ángulo de marcha, la edad, el centil de la prueba de Psicomotricidad ni el de Desarrollo Total.

En los AP, la principal variable predictora del centil de Desarrollo Total del CUMANIN al analizar las variables del miembro inferior izquierdo fue la edad, en meses, pero además en los niños de hasta 45 meses tuvo un valor predictivo la posición relajada del calcáneo izquierdo en carga ($R^2 = 0,398$).

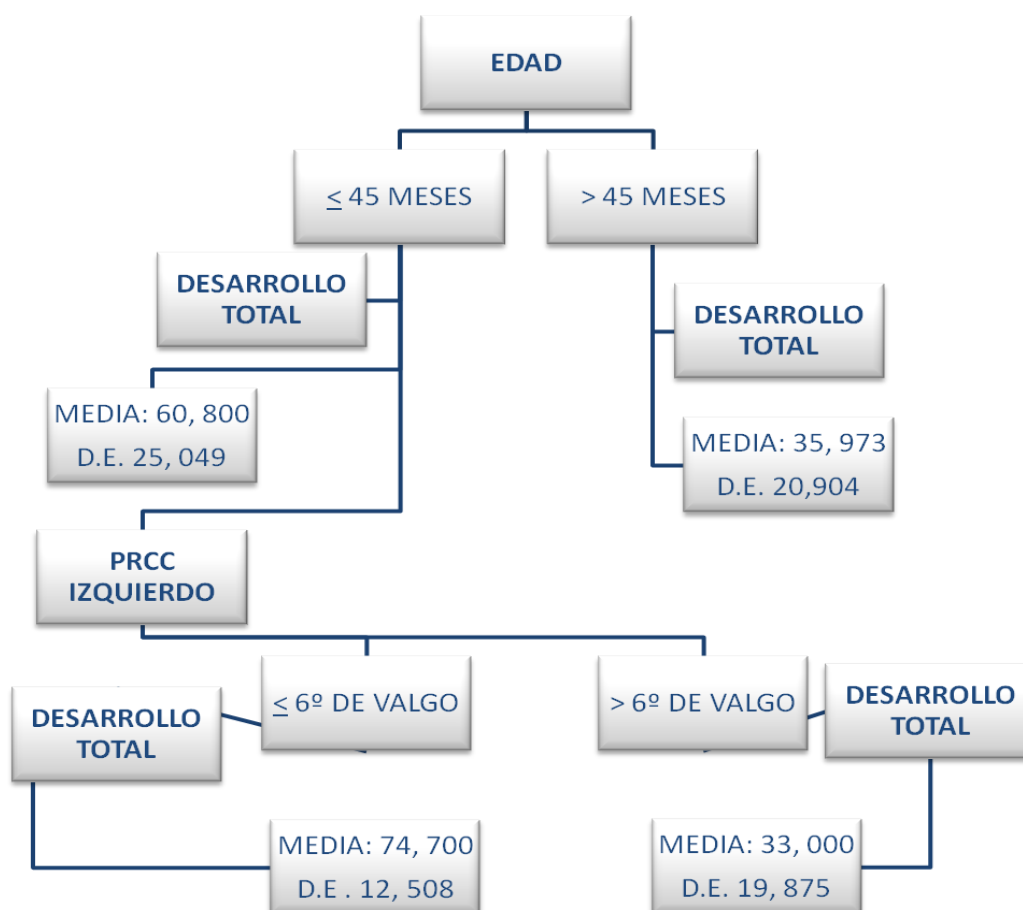


Figura 32: Árbol de predicción del Desarrollo Total del CUMANIN en los AP, a partir de las variables del miembro inferior izquierdo.
PRCC: Posición relajada del calcáneo en carga (°)

Esta variable no pudo ser explicada por ninguna de las siguientes, referidas al mismo pie: la PRCC, la FD del tobillo con la rodilla extendida, el ángulo poplíteo, el porcentaje de impulso del retropié ni el ángulo de marcha.

En los niños del grupo control, el valor del centil de Desarrollo Total del CUMANIN no pudo predecirse a partir de ninguna de las variables anteriormente indicadas.

En los AP, la principal variable predictora del centil de Desarrollo Total del CUMANIN al analizar las variables del miembro inferior derecho fue la edad, en meses ($R^2 = 0,212$).

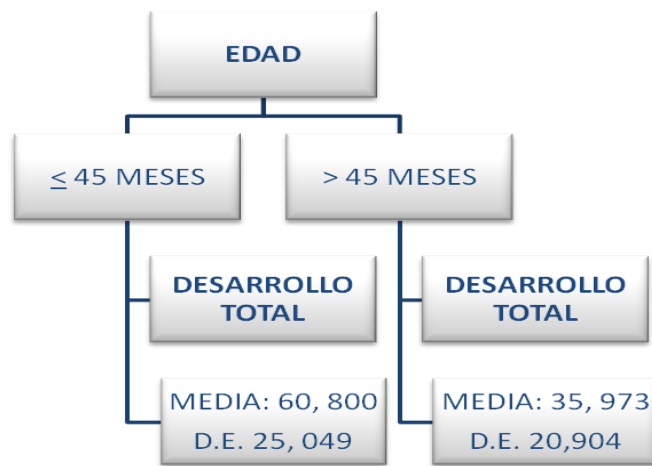


Figura 33: Árbol de predicción del Desarrollo Total del CUMANIN en los AP, a partir de las variables del miembro inferior derecho.

Este valor no pudo predecirse mediante ninguna de las variables siguientes, referidas al miembro inferior derecho: la PRCC, la FD del tobillo con la rodilla flexionada ni extendida, el ángulo poplíteo, el porcentaje de impulso del retropié ni el ángulo de marcha.

En los niños del grupo control, el valor del centil de Desarrollo Total del CUMANIN no pudo predecirse a partir de ninguna de las variables anteriormente indicadas.

DISCUSIÓN

8. *DISCUSIÓN*

8.1. DEFINICIÓN DE MARCHA DE PUNTILLAS IDIOPÁTICA Y DISCUSIÓN DEL PROTOCOLO

8.1.1. LA MARCHA DE PUNTILLAS IDIOPÁTICA COMO PATRÓN PREFERENTE. IMPLICACIÓN DE LA DORSIFLEXIÓN DEL TOBILLO

La definición de los AP señala que estos niños caminan habitualmente sin apoyar el talón, de forma simétrica desde el inicio de la marcha, y con un patrón preferente de contacto inicial con el suelo con la punta del pie o con toda la planta [216, 217, 230, 231, 233, 234], pero son capaces de realizar una marcha con choque inicial del talón cuando se les pide o se concentran en su marcha. Así, la marcha de puntillas idiopática es un patrón preferente [213-215, 221, 231, 258], modificable voluntariamente en ausencia de una retracción severa del complejo músculo-tendinoso gastrosóleo [14, 214, 217], en el que influyen factores emocionales, cognitivos y mecánicos, como la velocidad de la marcha y el calzado [8, 30, 218, 304]. Esta variabilidad de la marcha de los AP [213, 215, 221, 231, 233, 258] dificulta el establecimiento de criterios objetivos para considerar a un niño como AP a partir de las características de su patrón [13, 15, 16]. Según algunos autores, el choque de talón durante una situación de examen en los AP, en la cual estos niños tienden a alterar el patrón de marcha habitual [218, 222, 223, 226], llega a representar entre el 0 y el 100% de los apoyos iniciales del pie [13, 15, 16]. Por tanto, los criterios para calificar a un niño como AP no están definidos de forma unánime.

Aunque algunos autores han utilizado la FD del tobillo como criterio complementario de clasificación que puede contribuir al estudio del patrón de marcha, este factor no parece resultar determinante, puesto que se ha hallado una escasa relación entre las mediciones goniométricas de la FD y la movilidad del tobillo de los AP durante la marcha [13-15, 218, 234, 256], e incluso se considera que la retracción del tríceps sural pudiese ser una consecuencia del patrón de marcha alterado desde su inicio [222, 224, 229, 231, 234]. A pesar de ello, este criterio condiciona la definición de la marcha de puntillas idiopática, pues la FD del tobillo ha de estar dentro de los rangos de normalidad además de haberse descartado la presencia de patologías neurológicas u ortopédicas [216, 217, 226, 233, 235]. Estas

consideraciones han sido tenidas en cuenta en la definición de los criterios de inclusión y exclusión de la muestra evaluada en el presente trabajo, así como la existencia de otras alteraciones que pudieran producir una disfunción del pie o la marcha. La FD pasiva del tobillo, tanto con la rodilla extendida como flexionada, se ha tomado como una variable de estudio junto con algunos parámetros posiblemente relacionados, como el valgo del talón y el ángulo de marcha, que expresan las compensaciones más frecuentes en estos niños [217, 220, 221, 252].

8.1.2. DISCUSIÓN DEL PROTOCOLO

La revisión de la literatura ha revelado igualmente una falta de unanimidad en los criterios que llevan a incluir a un niño como AP en los diversos estudios experimentales. Mientras que en algunos trabajos los niños han sido derivados por pediatras, neurólogos y traumatólogos sin determinar los criterios de inclusión [13, 15, 214, 228, 232, 245], en otros los autores han utilizado criterios de selección propios, basados en la observación del patrón de marcha por parte de los padres [16, 222-224, 226] o de los examinadores [216, 218, 222, 223, 233, 236]. La subjetividad de la evaluación pudiese explicar, al menos en parte, la divergencia entre las cifras de prevalencia halladas de la marcha de puntillas idiopática, de un 5,2% a un 24% según las series estudiadas [7, 28, 219, 220].

Así, algunos autores consideraron como criterio único para calificar a un niño como AP la observación de los padres, recogida en un cuestionario, de una marcha de puntillas simétrica desde su inicio y que había persistido durante un período superior a los 3 meses después de los 3 años de edad [220]. La importancia de la opinión de los padres se refleja también en su inclusión en la *“Toe Walking Tool”*, una escala recientemente desarrollada que consta de diversos ítems de la entrevista clínica y la valoración, permite diferenciar la marcha de puntillas de origen neuromuscular, neurogénico u ortopédico de la idiopática y se ha demostrado válida y fiable [246]. Aunque esta herramienta no ha sido utilizada en el presente estudio, pues fue publicada posteriormente al comienzo del mismo, la mayor parte de los ítems que comprende estaban incluidos en la entrevista con los padres o en la valoración clínica de los niños. En otros casos, se requirió para incluir a los niños, además de la opinión de los padres, el que al menos uno de los examinadores observara este patrón en la evaluación [233]. Criterios menos restrictivos fueron utilizados en otro trabajo, en el que se clasificó como AP a los niños cuyos padres refiriesen una historia de marcha de puntillas superior a un

mes de duración, pero se consideró también suficiente para incluirlos la observación de este patrón durante la consulta [219].

En el presente trabajo la selección inicial de los AP se realizó a partir de la entrevista con los padres o tutores, que además permitió descartar posibles antecedentes ortopédicos, neuromusculares o neurogénicos [7, 217, 231, 246] y recoger otros factores relacionados con el desarrollo de la marcha [17, 105-107]. No obstante, el criterio fundamental de inclusión fue la observación visual de la marcha espontánea del niño cuando caminaba descalzo [218, 222, 304] por una pista rectilínea de material flexible. No se ha encontrado una metodología estandarizada de observación y caracterización del patrón de marcha en AP, a pesar de ser frecuente su utilización clínica y científica [216, 222, 223, 226, 233, 236]. En la muestra estudiada, sólo hemos incluido como AP los niños en los que dos examinadores detectaron visualmente la ausencia de una fase evidente de choque de talón, dada la dificultad que presenta la observación de la marcha en la detección de alteraciones leves [218, 231, 254].

Se ha estudiado una amplia serie de niños, compuesta por 56 AP y 40 controles, considerando el limitado rango de edad de la muestra y la prevalencia estimada de la marcha de puntillas idiopática [7, 28, 219, 220]. En los trabajos revisados el tamaño de la muestra ha resultado muy variable, entre los 13 AP valorados en un estudio interdisciplinar con criterios de inclusión similares a los nuestros y los 133 AP cuya marcha fue evaluada sin especificar los criterios de inclusión [13, 233]. La edad mínima de la población de estudio se estableció en los 3 años, edad límite para calificar el patrón de marcha de puntillas como anómalo y recomendar la evaluación [13, 230], aunque algunos autores han indicado que podría considerarse anormal ya a partir de los 2 años [31, 215-217, 226, 229]. Puesto que entre los objetivos del trabajo se encontraba el estudio de la relación entre las características estructurales y funcionales del pie en desarrollo y el patrón baropodométrico de marcha, en el marco de una valoración precoz de los AP, se evaluaron niños hasta los 6 años; a esta edad se considera que los principales cambios estructurales han sido completados [20, 21]. Además, algunos autores sostienen que a partir de ella podría estar indicada la cirugía cuando existe una retracción de los flexores plantares del tobillo [223, 234, 273], por lo que una intervención preventiva debería contemplarse en cualquier caso en una edad previa.

Para la interpretación de los resultados se contó con un grupo control, pues no se han encontrado valores de referencia para el rango de edad de nuestra muestra de algunas de las

variables clínicas utilizadas, mientras que el CUMANIN proporciona cifras de normalidad de los aspectos neuromadurativos en la población española [111, 112, 204, 211, 212]. En relación al análisis baropodométrico, tampoco se han establecido valores de normalidad de las variables estudiadas con el Footscan® y los trabajos con otros sistemas de medición de las presiones plantares son escasos y sólo se han realizado en niños sin alteraciones de la marcha [20, 23, 38, 39, 41] o con patologías diferentes a la marcha de puntillas idiopática [49-53, 190].

Respecto a los resultados del protocolo de valoración del presente trabajo, hay que considerar para su interpretación el sesgo de selección, al utilizar voluntarios. El efecto Hawthorne pudiese haber influido en las valoraciones, especialmente en la del patrón de marcha, al resultar imposible su realización sin la presencia del evaluador, percibida por el niño como una situación de examen [218, 222, 223, 226]. Sin embargo, el procedimiento de la prueba, integrada como juego, y el desconocimiento de los niños respecto al resultado esperado de la evaluación han podido minimizar este efecto.

Los medios instrumentales se han utilizado en diversos trabajos para estudiar las características electromiográficas, cinéticas y cinemáticas de la marcha de los AP, pero sin definir los criterios de inclusión [134, 135, 232, 267]. La necesidad de establecer parámetros objetivos de valoración y de realizar las evaluaciones en un entorno más normalizado ha promovido el reciente desarrollo de sistemas específicos y complementarios a la exploración visual de la marcha, como un acelerómetro y un sensor que permiten cuantificar los apoyos de los AP [16, 305]. El análisis baropodométrico, ampliamente utilizado para el estudio de la marcha infantil por su capacidad para medir las presiones plantares y su secuencia temporal y su sensibilidad para detectar alteraciones incipientes [12, 20, 23, 38, 39, 41, 177, 185], se presenta como un instrumento potencialmente válido para establecer criterios objetivos que permitan identificar a un niño como AP y valorar las características diferenciales de su patrón de marcha, en función de los parámetros del desarrollo del paso [192, 193].

La elección del pie a estudiar en la valoración clínica y baropodométrica se realizó a partir del análisis de las diferencias entre las características de ambos pies, las cuales han resultado significativas en distintas variables relativas a la movilidad del tobillo y al patrón baropodométrico (Tabla 3). Se ha demostrado recientemente el carácter transitorio de estas

diferencias en el desarrollo del paso en niños sin alteraciones del pie o la marcha [42], pero la asociación de las asimetrías halladas en AP con grados diferentes de severidad [13] y la falta de un criterio unánime en la elección del pie de estudio en la literatura revisada [20, 39-41, 44, 45], han llevado en este trabajo al análisis de los dos pies por separado.

Adicionalmente y por la posible relación de la marcha de puntillas idiopática con las alteraciones del desarrollo y la inmadurez psicomotora [219, 233, 234], se ha utilizado el test de evaluación neuromadurativa CUMANIN, que permite situar al niño con respecto a su edad cronológica y elaborar un perfil de resultados que valore su desarrollo de forma integral [111].

8.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y ENTREVISTA A LOS PADRES

En cuanto a las características descriptivas de la muestra evaluada, los AP tenían una edad media similar y presentaban una peso, una altura y un IMC (Tabla 1) dentro de los valores de normalidad descritos en la población española [306] y semejantes a los de los niños del grupo control, incluidos según los criterios referidos en la metodología. Aunque se encontró un mayor porcentaje de varones entre los AP ($p=0,008$) su proporción fue superior en los dos grupos de estudio y los resultados se encuentran dentro del rango referido en otros trabajos consultados, situado entre un 50% y un 80% [216, 218, 222-224]. Las variables clínicas, baropodométricas y neuromadurativas fueron evaluadas en función del sexo, pero no se demostraron diferencias estadísticamente significativas entre niños y niñas, por lo que se procedió a su análisis conjunto, al igual que en la mayoría de trabajos consultados sobre análisis de la marcha infantil [20, 23, 38, 39, 41, 187], y en todos los estudios sobre AP referenciados en el presente trabajo [7, 13, 15]. Por la mayor proporción de niños en la muestra estudiada, se continuará refiriéndose en masculino al conjunto de niños y niñas.

La entrevista clínica con los padres permitió, además de la identificación inicial de los AP y descartar patologías asociadas [16, 220, 233, 246], recoger una anamnesis en la que se incidió especialmente sobre los posibles FR relacionados con esta alteración, los hitos del desarrollo neuromadurativo y las manifestaciones clínicas más relevantes [216, 222, 223, 226, 231, 233]. También propició el complementar la información requerida por los padres [17].

En primer lugar, se recogió como factor predisponente para la marcha de puntillas idiopática la presencia de antecedentes familiares (Tabla 2), que existían en el 17% de los AP de nuestra muestra ($p=0,000$), un porcentaje bajo con respecto al 30-60% descrito en diversos estudios [16, 216, 222-224, 226] y cuya alta variabilidad ha sido considerada como posible reflejo de la combinación de factores genéticos y externos en el origen de esta alteración en el SNC [138]. Los FR biológico durante el período perinatal (Anexo 1), recogidos por diversos autores en AP y posibles indicadores de un daño previo del SNC [216, 233, 307], se presentaron en un 11,3% de los AP de la muestra estudiada y no fueron referidos en ningún niño del grupo control ($p=0,032$). Entre estos factores, el bajo o muy bajo peso al nacimiento, no ha mostrado en el presente trabajo una relación con la marcha de puntillas idiopática ($p=0,057$), a diferencia de lo descrito en la literatura [222]. No se demostraron diferencias significativas entre los dos grupos estudiados para otros FR evaluados por su relación frecuente con esta alteración de la marcha (Gráfico 1), como las circunstancias y las complicaciones del parto o la prematuridad [108, 109, 283, 308], si bien estos factores se presentaron en proporciones diferentes a las referidas por otros autores en AP, con mayores tasas de cesáreas e inferiores de prematuridad [216, 222, 226]. Además, un mismo niño podía presentar varios de los factores, con mayor riesgo de deficiencia [109, 111], y diversos parámetros no cuantificados, como la edad media de la madre, podrían estar condicionando estos hallazgos [135, 233].

La entrevista a los padres informó acerca de la edad de aparición de los distintos hitos del desarrollo neuromadurativo (control de esfínteres, gateo, marcha y primeras palabras), los cuales reflejan factores psicocomportamentales asociados a la maduración del SNC [105, 194]. Si bien Shulman y cols. han referido un frecuente retraso en la aparición de algunos de estos hitos en AP [233], en la muestra estudiada los AP presentaron valores similares a los del grupo control (Tabla 2) y dentro del rango descrito por otros autores [23, 38, 40, 216, 222, 226]. El gateo fue la forma más frecuente de locomoción pre-marcha en ambos grupos (71,4% de los AP), mientras que el arrastre y el “*culeo*” o desplazamiento en sedestación se presentaron en el 11,1% y el 4,4% de los AP, respectivamente, sin diferencias con el grupo control ($p=0,432$). La experiencia de marcha tampoco demostró diferencias significativas entre los AP y los niños del grupo control ($p=0,501$), lo que resulta fundamental para comparar sus patrones de marcha por el valor predictivo de esta variable en la evolución hacia formas maduras en niños sin alteraciones del pie, la marcha o el desarrollo [76, 87, 89-91, 102].

La utilización de tacatá o andador, ampliamente desaconsejada por su asociación con accidentes y alteraciones del desarrollo músculo-esquelético y neuromadurativo [309-312], ha sido también relacionada con la persistencia de la marcha de puntillas, al generar un patrón similar al que adoptan espontáneamente los AP [31, 216, 222, 227]. En el presente trabajo, la utilización del tacatá no demostró diferencias significativas entre los dos grupos estudiados ($p=0,347$) y estuvo presente en el 26,8% de los AP, un porcentaje inferior a los descritos en otras series de población infantil y de AP, superiores al 50% [216, 309-311]. También se consultó sobre la sedestación habitual, indicador de la organización postural [194] y posible causa de problemas ortopédicos [105]. La sedestación en “indio” fue la más utilizada, pero la sedestación en “W”, causante de tensiones excesivas en las articulaciones del MI [105], fue la preferida por un elevado porcentaje de los niños, sin diferencias significativas entre los dos grupos estudiados (Tabla 2); esto podría relacionarse, entre otros aspectos, con los síntomas dolorosos.

En este sentido, se evaluó también en la entrevista clínica la presencia de las manifestaciones clínicas más frecuentemente referidas por los AP: el dolor o cansancio en los MMII y la torpeza motora [16, 216, 222, 229]. Las molestias en MMII fueron manifestadas por el 32,5% de los AP y el 46,4% de los niños del grupo control ($p=0,171$), porcentajes superiores al 9% y al 27,3% referidos en la literatura sobre AP [216, 222]. Estos datos podrían ser parcialmente explicados por un sesgo de selección y/o reflejar la existencia de “dolores del crecimiento”, habituales en los MMII en relación con el ejercicio y cuya prevalencia se ha estimado en el 37% de los niños de entre 4 y 6 años [313, 314]. Los signos referidos por los padres como indicadores de torpeza motora, como las caídas frecuentes o la menor habilidad que los niños de su edad [16, 222, 226], se encontraron en el 57,5% de los AP, una proporción significativamente superior a la de los niños del grupo control (Gráfico 2) y ligeramente más elevada que la referida en otro estudio, en el cual el 45% de los AP presentaron un déficit de equilibrio [216]. A pesar de las menores habilidades motoras de los AP, no se demostró que estos niños eligiesen actividades diferentes ni rechazasen la práctica de ejercicio ($p=0,088$), aunque un 7,1% no realizaba ninguna actividad física fuera del colegio [16].

8.3. VALORACIÓN CLÍNICA DE LOS MIEMBROS INFERIORES

La valoración se inició con la medición goniométrica del ángulo poplíteo [127]. Los valores obtenidos en los AP de nuestra muestra resultaron ligeramente más elevados que los de los niños del grupo control (Tabla 4), al igual que en otros trabajos, señalando la ausencia de acortamiento de los músculos isquiotibiales en los AP ya destacada por algunos autores [135, 257].

La FD pasiva del tobillo se midió también mediante goniometría, tanto con la rodilla extendida como flexionada, hallándose amplitudes inferiores para los AP en las dos mediciones, aunque sólo se demostraron diferencias estadísticamente significativas en la FD con la rodilla flexionada, en ambos tobillos (Tabla 4). Estos resultados orientan hacia el papel predominante del músculo sóleo en la ligera limitación de la movilidad de los AP [15, 16]. Si bien se ha demostrado una restricción en la FD con rodilla extendida en otros trabajos, la edad media inferior de los niños del presente estudio podría explicar, al menos en parte, la ausencia de limitación en la movilidad del tobillo [135, 233].

Los valores de FD de tobillo con la rodilla extendida de los AP de la presente muestra se encuentran en el rango bajo de los valores de normalidad en niños de esta edad [128] y alrededor de la amplitud mínima de 10° propuesta para considerar el acortamiento de los gemelos y establecida como límite de la posible evolución espontánea favorable de los AP [138, 236]. La diferencia entre las mediciones de la FD en distinta posición de la rodilla supera los 5° considerados por algunos autores como indicativos de retracción gastro-sólea y al ser ligeramente mayor de 15° podría señalar una hipertonía de los gemelos, es decir, una contractura elástica de los mismos [26, 137, 138, 216].

Por tanto, encontramos en el grupo de estudio actual una tendencia a la limitación de la FD pasiva del tobillo dentro de los límites de normalidad [128], al igual que la hallada por diversos autores en AP [217, 220, 221, 223, 233, 236], y menos importante que la registrada en otras series de AP con una edad media superior [15, 134, 135, 216]. Este hecho podría relacionarse con la hipótesis de que el acortamiento gastro-sóleo es una consecuencia de un patrón de marcha alterado desde el inicio [222, 224, 229, 231, 234], pero aunque se ha referido una moderada relación negativa entre la edad y los grados de FD del tobillo en AP y que la marcha de puntillas idiopática triplica las posibilidades de tener una limitación severa

en la FD activa del tobillo en niños, adolescentes y jóvenes, no se ha encontrado ningún estudio prospectivo que confirme esta hipótesis [220, 233].

La PRCC y el ángulo de pronación son mediciones estáticas en el plano frontal que se han utilizado para valorar a largo plazo la consecuencia de los tratamientos con férulas y cirugía sobre las alteraciones en la alineación del calcáneo y la tibia de los AP [218]. Aunque dentro del rango de normalidad descrito por diversos autores para niños de edades semejantes [151, 152], los valores significativamente superiores de PRCC en los dos pies de los AP (Tabla 5) podrían estar ligados a su menor FD, pues el déficit de extensibilidad gastrosólea ha sido relacionado con el pie plano valgo [137, 144, 315]. El ángulo de pronación resultó más elevado en los dos pies de los AP que en los niños del grupo control y de otros estudios revisados [120, 149, 153], confirmando la tendencia a la pronación del calcáneo y al valguismo tibial que resultó significativa sólo en el pie izquierdo ($p=0,005$).

La pronación del mediopié bajo carga y, por tanto, la flexibilidad del ALI [160, 165], fue evaluada con el test de la caída del navicular. Los valores significativamente superiores en los AP del presente trabajo (Tabla 5) podrían destacar la pronación del mediopié como característica diferencial del comportamiento de sus pies bajo carga. Estas cifras, que se encuentran dentro del rango de normalidad descrito en las edades estudiadas, están muy alejadas de la caída de 10 mm que algunos autores han relacionado con un aumento del estrés de los tejidos [152, 164].

Adicionalmente, las características de la huella plantar en el podoscopio nos han permitido evaluar la morfología global del pie y clasificarla según los criterios de Viladot y cols., variables que no ha sido reflejadas en ninguno de los trabajos sobre AP revisados [159, 164, 316]. En nuestra muestra, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los AP y los niños del grupo control en la distribución de los diferentes tipos de huellas plantares (Gráficos 3 y 4). El pico de pronación, signo de la valguización excesiva del talón con un ALI conservado [169], resultaba visible en el 14,8% de los dos pies de los AP, un porcentaje significativamente superior al del grupo control sólo en el pie derecho ($p=0,049$). Además, la imagen del podoscopio mostraba un talón estrecho o con menor apoyo en el 31,5% de los pies izquierdos y el 33,3% de los pies derechos de los AP, mientras que ninguno de los niños del grupo control mostraba esta característica ($p=0,000$). Esta disminución del

apoyo del talón en los AP, junto con la pronación presente en estos niños [137, 144, 315], podría relacionarse con la influencia de la elevada tensión muscular del tríceps sural en la configuración y el desarrollo del pie y también con la anteriorización del CG, reflejando alteraciones en el control postural con implicación de los segmentos superiores, pues el rango articular de los tobillos permitía en todos los casos el apoyo completo del talón [17, 19, 305].

8.4. CARACTERÍSTICAS NEUROMADURATIVAS

Diversos autores han reflejado en AP la presencia de alteraciones relacionadas con el control motor, la visopercepción, la espacialidad y el lenguaje, por lo que han recomendado su evaluación neuromadurativa [219, 233, 271, 272]. En este trabajo se ha elegido para ello el CUMANIN, una prueba de “*screening*” validada en España para niños de las edades de la población de estudio, utilizada en varios ámbitos que incluyen el de la rehabilitación infantil y que evalúa las distintas áreas de desarrollo neuromadurativo del niño en relación a su edad cronológica, para detectar trastornos leves [111, 112, 204, 211, 212].

Los niños del grupo control del presente estudio lograron unas puntuaciones dentro de los límites considerados normales en la población española y semejantes a las de los niños de los grupos control de los diversos trabajos publicados [112, 204, 212]. Los AP obtuvieron centiles significativamente inferiores a los del grupo control en las escalas de Psicomotricidad y Memoria, el Desarrollo Verbal, el Desarrollo No Verbal y el Desarrollo Total (Tablas 6 y 7), mostrando manifestaciones específicas y comunes a las encontradas por otros autores [219, 233]. También obtuvieron una puntuación moderadamente baja en Atención y centiles ligeramente inferiores a la norma en Lenguaje Articulatorio y Ritmo e por debajo del 60 en Lenguaje Comprensivo y Visopercepción. Los déficits demostrados por los AP de nuestra muestra pueden relacionarse con su mayor torpeza motriz e implican áreas de gran importancia para el desarrollo de la marcha y el aprendizaje [65, 97, 104, 197]. Por ello, apoyan la hipótesis de que la marcha de puntillas es una manifestación de una alteración en los procesos neurocognitivos que subyacen a la percepción y la organización motora y un marcador de los problemas del desarrollo [7, 234].

Dificultades similares se han hallado en niños con trastornos de hiperactividad y DCM, en los cuales el déficit observado suele ser mayor y abarcar más dominios [106, 111], y también en niños que habían presentado un muy bajo peso al nacimiento [112]. Las características que mostraron estos niños y los AP del presente trabajo configuran un perfil neuropsicológico heterogéneo, también llamado “*en dientes de sierra*”, en el cual el rendimiento satisfactorio en algunas áreas indica buenas posibilidades de compensación, aunque los aspectos problemáticos podrían ser trabajados en un programa específico de intervención [106, 111, 112, 204]. Este perfil orienta hacia un cuadro de inmadurez neuroevolutiva e indica la necesidad de un seguimiento y un eventual entrenamiento neuropsicológico en el caso de mantenerse o acentuarse las dificultades encontradas. No obstante, al ser el CUMANIN una prueba de “*screening*”, la probable existencia de alteraciones en el desarrollo y la necesidad de tratamiento deben ser valoradas mediante instrumentos específicos aplicados por profesionales especializados [111].

En cuanto a la lateralidad, reflejo de la organización cerebral [124, 212], sólo se encontraron diferencias entre los dos grupos de niños estudiados en su definición podálica. Mientras que el 59,6% de los AP presentaba una dominancia ocular derecha ($p=0,057$) y el 92,6% utilizaba preferentemente la mano derecha ($p=0,342$), en el rango referido por otros autores [112, 212, 317], el pie derecho era el dominante en un porcentaje de AP significativamente inferior al del grupo control (Gráfico 5) y al hallado en niños sin alteraciones de la misma edad [212]. Aunque la lateralización no se encuentra aún completamente definida en las edades estudiadas [124], la predominancia del dextrismo podálico en los dos grupos de niños de nuestra muestra y sus posibles consecuencias sobre la asimetría morfológica y funcional podrían explicar las diferencias estáticas y dinámicas encontradas entre los dos tobillos y pies, que han llevarlo a analizarlos de forma independiente [125, 126].

Además, los porcentajes de dextrismo podálico inferiores al manual podrían ser indicativos del retraso en los AP del progresivo control y la definición funcional derivados de la maduración céfalo-caudal del SNC [124, 273] y condicionar su realización de un patrón de marcha inmaduro. De forma complementaria, se estudió la homogeneidad de la lateralización visual, manual y podálica, pues se ha descrito que los niños con un desarrollo neuropsicológico satisfactorio tienen preferentemente fórmulas de lateralidad homogéneas y

los que padecen DCM presentan una tendencia al cruce o al ambidextrismo, lo que implica un mayor riesgo de trastornos del lenguaje, dificultades de aprendizaje, etc. [111]. El 59,6% de los AP mostró una lateralidad homogénea, una proporción inferior al 67,5% de los niños del grupo control pero sin diferencias significativas entre los dos grupos ($p=0,068$).

8.5. ANÁLISIS BAROPODOMÉTRICO DE LA MARCHA

El estudio de las diversas características baropodométricas de los niños del grupo control mostró una distribución de presiones plantares y del porcentaje de contacto y de impulso de las distintas zonas del pie, así como un desarrollo temporal del paso similares a los observados en otros trabajos, que evaluaron las presiones plantares en niños sin alteraciones del pie o la marcha con edades próximas a las de nuestra muestra y mediante sistemas y zonas de análisis diversos [20, 38-41, 187].

La comparación de las características baropodométricas de la marcha de los dos grupos de niños evaluados se comenzó por el estudio de las presiones que ejerce cada zona durante el apoyo, el cual ha mostrado su utilidad para el análisis funcional del pie a la vez que se considera la posible relación entre la distribución de estas presiones y el desarrollo del mismo [11, 44, 318]. Aunque se ha descrito la influencia de la edad y el peso sobre las presiones plantares, la ausencia de diferencias entre los AP y los niños del grupo control de la muestra estudiada en dichas características descriptivas permite la comparación directa de estas variables [20, 43-45].

La distribución de presiones en los dos grupos de estudio, control y AP, resultó semejante a la descrita en la literatura, con valores más elevados de presión media máxima y pico en el talón, seguidos del antepié y el primer dedo, con una carga más medial que lateral en el retropié y con presiones más altas en los metatarsianos centrales que en el primero y en el quinto [20, 23, 38, 41, 187]. El análisis de la presión pico reveló que los AP ejercían presiones significativamente inferiores a las del grupo control con el talón y con el mediopié, mientras que los metatarsianos presentaban un comportamiento variable con una distribución de presiones compatible con el mantenimiento de la flexibilidad del antepié debida a la configuración y la dinámica del arco transversal [169, 195], y los dedos de los AP realizaban también presiones pico inferiores (Tablas 8 y 9). En cuanto a la presión media máxima, se

encontraron valores ligeramente más bajos en el talón y más elevados en los metatarsianos de los AP, que sólo resultaron significativos con respecto al grupo control en la zona lateral del talón del pie derecho y el segundo metatarsiano del pie izquierdo (Gráficos 6 y 7), el cual ejercía también una presión pico significativamente superior.

Las diferencias en la presión media máxima entre los dos grupos de niños evaluados bajo las regiones del antepié y el retropié podrían relacionarse con la superficie de contacto con la plataforma, que se ha estudiado con relación a la superficie total del pie para hallar el porcentaje de contacto de cada zona. No se demostraron diferencias estadísticamente significativas entre la superficie de los dos pies de los AP y los niños del grupo control (Tablas 10 y 11). Los AP presentaban un porcentaje de contacto ligeramente superior en las regiones del retropié y el mediopié e inferior en el antepié, con diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos solamente en el retropié izquierdo y en el antepié de los dos pies. El menor porcentaje de contacto del antepié de los AP podría deberse a que la elevada actividad muscular en el tobillo y el pie de los niños con marcha de puntillas, con una cocontracción de la musculatura flexoextensora durante el apoyo [15, 254, 257, 258], acentúa el arco transversal anterior del pie y podría interferir en el incremento progresivo del área de contacto del antepié descrito en los niños sanos durante el primer año de experiencia de marcha [38, 319]. El aumento del porcentaje de contacto del retropié en los AP podría estar producido por el comportamiento del talón como amortiguador pasivo en la fase de respuesta a la carga, cuando se deforma bajo las fuerzas provocadas por el inicio del balanceo del MI contralateral, en lo que podrían influir, como sugieren diversos autores, la falta de control muscular y de coordinación en los flexoextensores de tobillo junto con la aceleración producida por una marcha rápida [30, 31, 56, 225, 227].

El estudio del impulso ejercido por el pie y sus diferentes regiones permite conocer la magnitud total de la presión producida durante su apoyo [44]. En el presente trabajo hemos analizado, como medida global del comportamiento del pie durante la marcha, el impulso realizado por las diferentes zonas con respecto al impulso total, al igual que en otros estudios de valoración de la marcha infantil [37-40, 44]. Los AP presentaron un patrón de distribución del impulso similar al observado en otros trabajos con niños sin alteraciones del pie o la marcha, con los valores de impulso más elevados en el antepié y los mínimos en el mediopié [38-41, 44, 45], y un impulso total en los dos pies similar al de los niños del grupo control de la muestra estudiada (Tablas 12 y 13). No obstante, los AP producían una menor proporción

de impulso con el retropié y mayor con el antepié, con diferencias estadísticamente significativas con el grupo control en los dos pies, mientras que el comportamiento del mediopié resultó variable y no significativo. Este desplazamiento anterior de la carga, que algunos autores han relacionado con el deficitario control de la deceleración y con la velocidad de marcha [187], había sido ya establecido como característico del patrón de los AP, en el cual se ha descrito la presencia de un adelantamiento del CP, un tercer rodillo precoz y un momento plantarflexor temprano, que disminuyen la generación de impulsos en el retropié y la desplazan hacia el antepié [13, 264].

En los niños evaluados en el presente trabajo, las diferencias halladas en el impulso parecen relacionarse con la diversa duración del tiempo de apoyo de cada zona sobre la plataforma con respecto a la duración total del paso, es decir, el porcentaje de tiempo de apoyo de cada región, que junto con el tiempo de inicio de la presión con cada una de las regiones permite evaluar la organización dinámica del desarrollo del paso y de sus diferentes fases [320]. No se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos en la duración del paso, ligeramente inferior en los AP, los cuales mostraron un porcentaje de tiempo de apoyo más breve del talón y el mediopié, con una mayor variabilidad, y más prolongado del antepié y los dedos, con diferencias estadísticamente significativas con el grupo control en todas las zonas de ambos pies (Tablas 14 y 15).

Estas diferencias en el mantenimiento del apoyo de las diversas zonas del pie de los AP podrían relacionarse con los resultados del análisis cinético y cinemático de su patrón de marcha, descrito por Armand y cols. y Alvarez y cols. [13, 264] y caracterizado por una inversión del segundo rodillo que produce un mayor mantenimiento de la presión bajo los metatarsianos, los cuales constituyen el verdadero pivote del pie en la marcha de puntillas [15], como parecen confirmar los elevados porcentajes de impulso que ejerce el antepié de los AP de la muestra estudiada. Algunos autores han indicado que este patrón podría estar causado por la insuficiente regulación del apoyo inicial por parte de los flexores dorsales del tobillo, que han de ejercer un efecto decelerador sobre la caída del pie en el suelo y en la marcha de puntillas son inhibidos por el inicio prematuro de la actividad del gastrocnemio al final de la fase de balanceo [15, 195, 254, 257, 258]. También podría deberse, según otras aportaciones, a un déficit en la capacidad del MI para absorber progresivamente el impacto inicial y en los diversos mecanismos de control de la estabilidad y la progresión, entre los cuales juega un papel fundamental la flexión de la rodilla [13, 26, 27]. Este mecanismo parece

estar alterado en los AP, en los que se ha descrito como característica de su patrón una hiperextensión de rodilla inmediatamente posterior al contacto del pie en el suelo [13, 26], pero en el presente trabajo no se han estudiado estas posibles compensaciones al no incluirse entre los objetivos del mismo el análisis de los segmentos superiores.

Desde una óptica inversa, considerando la función del pie como receptor de informaciones, la disminución o desaparición de la fase de apoyo del talón en los AP altera la interacción inicial entre el cuerpo y el suelo e implica una pérdida de información sobre la horizontalidad del terreno y su naturaleza, fundamental para organizar el patrón adecuado a las características del plano de apoyo [26, 180, 195].

A continuación se estudiaron el tiempo de inicio de la presión y de realización de la presión máxima con cada una de las zonas del pie durante el desarrollo del paso. Estas variables configuran el patrón temporal de aplicación de las fuerzas y de transferencia de la carga máxima sobre el pie, cuya importancia ha sido destacada por algunos autores que evalúan la madurez del patrón de marcha y los mecanismos de estabilidad y progresión a través de la medición del traslado de la proyección del CG corporal por la superficie podálica, es decir, del CP del pie [23, 58, 59, 86, 185, 321]. Sin embargo, no se ha encontrado ningún trabajo que estudie el desarrollo temporal del paso en los AP mediante la valoración de las presiones plantares.

La secuencia temporal del inicio de la presión con las distintas regiones del pie, durante la evolución del paso, comienza en el talón seguido del mediopié, continúa por los metatarsianos centrales antes del quinto y el primero y finaliza en los dedos [39, 195]. Esta secuencia resultó similar en los niños del grupo control y en los AP, pero los AP presentaron un inicio significativamente más tardío de la presión con el retropié y un adelantamiento significativo del apoyo del mediopié, el antepié y los dedos, que se correspondió con un mayor porcentaje de tiempo de apoyo en estas regiones (Gráficos 8 y 9), con una mayor variabilidad en el retropié de los AP y en el antepié de los niños del grupo control (Tablas 16 y 17). En el antepié, la secuencia de inicio de la presión en la muestra estudiada podría relacionarse con la biomecánica de la articulación de Lisfranc, por la cual los metatarsianos quinto, cuarto y primero se mueven en mayor medida que los metatarsianos centrales para configurar el arco transversal en la fase de aproximación al suelo, que se reduce hasta desaparecer o incluso invertirse cuando el pie se apoya, en un mecanismo que permite junto

con el movimiento de los huesos del tarso la adquisición del conocimiento relativo a la inclinación del plano de apoyo en dirección látero-lateral [169, 195].

La progresión de aplicación de la presión máxima también resultó similar a la descrita por otros autores [39, 187] y cualitativamente semejante para los dos grupos de niños estudiados, si bien los AP presentaron un adelantamiento del tiempo en el que ésta se ejercía con diferencias estadísticamente significativas en la mayor parte de las zonas estudiadas (Gráficos 10 y 11). La secuencia de realización de la presión máxima con el antepié resultó diferente a la del inicio de la carga, con una aplicación más tardía en los metatarsianos centrales (Tablas 18 y 19), lo cual podría apoyar el modelo de configuración en trípode del pie con la presencia de un arco transversal [195]. Aunque algunos autores han indicado que la marcha de puntillas altera esta configuración, esto no se verificó en los AP estudiados, quizás debido a su corta edad y a la elevada variabilidad de sus parámetros [216, 229].

También se ha estudiado el ángulo de progresión del pie o ángulo de marcha, cuyo incremento se considera una estrategia para aumentar la estabilidad mediante la ampliación de la base de sustentación, como se ha descrito en niños durante las primeras etapas de la marcha independiente y en alteraciones neurológicas [26, 322]. En la muestra estudiada los AP mostraban ángulos ligeramente superiores, pero no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas con el grupo control ni para el pie derecho ($3,714 \pm 6,525^\circ$ en el grupo control y $4,831 \pm 8,117^\circ$ en los AP, $p=0,474$) ni para el izquierdo ($3,590 \pm 7,814^\circ$ en el grupo control y $5,369 \pm 8,083^\circ$ en los AP, $p=0,284$). Los valores de ambos grupos se encuentran dentro del rango referido en edades similares y superiores [46, 280, 323] y su ligero incremento en los AP podría ayudar a mantener el equilibrio ante una marcha inestable, además de relacionarse con las alteraciones torsionales externas frecuentes en estos niños [26, 221, 254, 322].

En los dos grupos estudiados, AP y control, se demostraron diferencias entre el pie derecho e izquierdo en cuanto a las variables clínicas y baropodométricas evaluadas (Tabla 3). Estas podrían expresar una diferenciación funcional de los dos pies en relación con la lateralidad [125, 126], predominantemente diestra (Gráfico 5). El pie izquierdo presentó valores inferiores de FD del tobillo y demostró una mayor pronación del mediopié y el retropié, características compatibles con su definición como pie “de carga”, frente al pie

derecho, considerado como “dinámico” en los niños diestros, con mayor participación del talón y el antepié medial en el desarrollo del paso [42, 125]. No se demostraron diferencias entre los dos pies en el ángulo de marcha ni en la duración del paso, a excepción de la existencia de un paso significativamente más prolongado en el pie derecho del grupo control. Estas diferentes características de los dos pies, que implicaban diversas transiciones del CP por la superficie plantar, no alteraron las tendencias mostradas por los dos grupos de la muestra estudiada [23, 59, 185, 321].

8.6. CLASIFICACIÓN BAROPODOMÉTRICA DE LOS ANDADORES DE PUNTILLAS

En conjunto, los AP presentaron una diferente distribución de la carga que los niños del grupo control, con menores presiones e impulsos a nivel del talón y mayores en el antepié, además de un desarrollo temporal del paso diverso, con un retraso en el inicio del contacto de talón y un inferior porcentaje de tiempo de apoyo en esta región y en el mediopié, asociado a un incremento del mantenimiento del apoyo del antepié. La variabilidad en el modo de apoyo inicial del pie, visualizada en los registros baropodométricos del Footscan® y objetivada mediante el estudio de los tiempos y las localizaciones del primer contacto con la plataforma, permitió definir tres tipos de AP, caracterizados a partir de los modelos de contacto inicial del pie, e individualizar para cada uno de ellos la distribución de las presiones y el desarrollo temporal del paso. En el Tipo 1 se encontraban los AP que mostraban el choque inicial siempre con el talón y seguido de las otras zonas, en un rodillo “del talón a los dedos”. En el Tipo 2 se incluyeron los AP que realizaban un apoyo inicial del talón junto con el apoyo inmediato de otras zonas del pie, es decir, un apoyo plantígrado, o bien mostraban un apoyo inicial variable alternando el choque de talón con el apoyo plantígrado. En el Tipo 3 se clasificaron aquellos AP que demostraron un contacto inicial del antepié continuado con un apoyo retrógrado del talón.

La diversa implicación del talón en los apoyos iniciales del pie ha sido objeto de estudio baropodométrico por Hallemans y cols. y Bertsch y cols., que realizaron trabajos de seguimiento de un grupo de niños desde los primeros pasos de marcha independiente y hasta el primer año de la misma, refiriendo los tres modelos descritos en nuestra muestra [23, 37, 38]. Estos patrones de contacto inicial fueron relacionados con el desarrollo morfológico y

funcional del pie, que implica el desplazamiento de cargas desde el mediopié al antepié y al retropié y la progresiva formación del ALI hasta los 6 años de edad [20, 40, 41, 44]. Los tres modelos se han mostrado transitorios y evolutivos hacia el patrón maduro, que algunos autores sitúan hacia los 3 años, si bien la marcha continúa en evolución hasta los 8 años de edad [2, 30, 31, 54, 216, 227]. Diversos trabajos han mostrado la presencia de un primer rodillo del talón ya desde las primeras etapas de la marcha independiente, pero éste no se convierte en un patrón consistente hasta que se incrementa la estabilidad, de forma que el choque de talón emerge cuando mejora el equilibrio [23, 37, 38, 40].

Aunque no se han encontrado estudios baropodométricos en AP, modelos similares de contacto inicial del pie han sido objetivados en AP de mayor edad mediante el análisis cinético y cinemático de la marcha por Alvarez y cols., que realizaron una clasificación de su patrón de marcha para establecer la severidad y la indicación de tratamiento, referida posteriormente por otros autores para seleccionar la opción terapéutica más adecuada y valorar su eficacia [13, 256, 261]. El hallazgo de los tres patrones de contacto inicial descritos en los AP del presente trabajo, con una edad media de 4,6 años, plantea la discusión ya presente en la literatura de que la marcha de puntillas idiopática puede considerarse un patrón específico de marcha o bien pudiese resultar un signo de inmadurez neuromotora, resultado de sinergias musculares primitivas [15]. Este patrón podría aceptarse como fisiológico en las etapas precoces de la deambulación, favorecido por el adelantamiento característico del CG [31, 227], pero esta consideración permanece dudosa y, de producirse, debería haberse normalizado antes de los 3 años [28, 30, 216, 222, 228, 234], por lo que todos los niños de nuestra muestra deberían mostrar una marcha con choque de talón [54].

El análisis de las características baropodométricas de los tres modelos de desarrollo del paso diferenciados en los AP del presente estudio reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos para diversas variables correspondientes a la distribución de presiones en la superficie plantar y al desarrollo temporal del paso, no sólo en la región del talón sino también en el mediopié y el antepié, mientras que no se encontraron diferencias en el ángulo de marcha. Las características baropodométricas, clínicas y neuromadurativas específicas de cada tipo de AP se evidenciaron además al compararlos con los niños del grupo control (Tablas 20-31).

Los AP de Tipo 1, que realizaban siempre el choque de talón, presentaron un modelo de distribución de presiones similar al de los niños del grupo control pero con presiones pico significativamente inferiores en el mediopié (Tablas 20 y 21), lo que confirma la configuración del ALI [23, 37]. El desarrollo del paso resultó significativamente más rápido (Tablas 26 y 27 y 30 y 31), con un desplazamiento anterior de los impulsos (Tabla 25), en posible relación con una mayor inestabilidad en el eje longitudinal del pie [37] que genera un adelantamiento rápido del CP, no estudiado en el presente trabajo [23]. Estos niños mostraron un menor porcentaje de tiempo de apoyo del talón (Tablas 26 y 27), que se ha referido como reflejo de los problemas de equilibrio en los niños que comienzan a caminar, asociado al mayor tiempo de apoyo del antepié y los dedos, zonas que permiten un mejor control muscular para compensar las inestabilidades de las regiones del mediopié y el talón, más rígidas [23, 37, 324]. Un modelo similar de apoyo inicial del pie mostraron los AP de Tipo 1 del trabajo de Alvarez y cols., que calificaron a estos niños como AP de carácter leve en cuanto a los parámetros cinéticos y cinemáticos de la marcha [13].

Los AP de Tipo 2 presentaron un patrón baropodométrico con valores significativamente inferiores de presiones medias máximas y pico en el talón y el mantenimiento de las presiones en otras zonas (Tablas 20-23). Estos datos reflejan apoyos iniciales ocasionales con el talón y la realización preferente de un contacto plantígrado, similar al del Tipo 2 definido por Alvarez y cols. [13], que permite una distribución más uniforme de las presiones, lo que puede considerarse una estrategia para mantener el equilibrio en una situación de inestabilidad, como se ha descrito en niños que comienzan a caminar [37, 45]. En este grupo el paso no resultó significativamente más rápido que en el grupo control (Tablas 26 y 27) pero se demostró un retraso significativo en el tiempo de inicio de la presión con el talón (Tablas 28 y 29).

Los AP de Tipo 3 de la presente muestra, que realizaban el contacto inicial con el antepié seguido de un apoyo retrógrado del talón, incluían en su patrón de desarrollo del paso la realización de presiones medias máximas y pico significativamente superiores con el antepié (Tablas 20-23), con un modelo similar de distribución presiones al hallado en PCI [319] y mostrando un desplazamiento anterior de la carga que se ha definido como una estrategia para obtener una mejor estabilidad durante el rodillo del pie en adultos con una sensación plantar limitada y pacientes con Parkinson [324, 325]. Estos AP generaban además con el antepié presiones medias máximas y pico superiores a las de los otros grupos y a las

producidas por su talón, mostrando una inversión anteroposterior de la distribución de presiones en la superficie plantar [20, 38, 39, 41, 45, 187]. El antepié ejercía impulsos relativos superiores al 80% (Tabla 25) y podría considerarse una región particularmente relacionada con la alteración en el patrón de marcha, al igual que describieron Femery y cols. en niños con PCI [52, 319]. Aunque la duración del paso no resultó significativamente superior a la del grupo control (Tablas 26 y 27), la presión se iniciaba con el antepié (Tablas 28 y 29) y los metatarsianos mostraban un tiempo de apoyo muy prolongado, que llegaba a alcanzar un valor superior al 89% de la duración del paso (Tablas 26 y 27). Alvarez y cols. consideraron a los AP de Tipo 3 como severos pero no objetivaron en ellos el apoyo retrógrado de talón hallado en nuestra muestra, cuya descripción no se ha referido en ninguno de los trabajos revisados sobre AP [13].

En resumen, la comparación entre los tres tipos de AP y con el grupo control destacó que mientras los AP de Tipo 1 desarrollaban un paso rápido con un desplazamiento anterior de la carga, los AP de Tipo 2 mostraban una menor utilización del talón y los AP de Tipo 3 realizaban una marcha con una utilización preferente del antepié. Desde el punto de vista biomecánico, estos tipos de marcha podrían representar distintos grados del patrón baropodométrico resultante de la actividad prematura y sostenida del tríceps sural durante la primera mitad de la fase de apoyo, característica de los AP y que se mantiene incluso cuando realizan de forma espontánea una marcha con apoyo inicial del talón [15, 254, 257, 258]. Esto implica una rápida transición del CP del talón a los metatarsianos, lo que proporciona el aspecto de marcha “a saltitos” o “a rebotes” referido por algunos padres, y genera una elevada velocidad de desplazamiento del CG hacia adelante con una alteración en la coordinación del movimiento de los MMII y de su modulación muscular, la cual requiere ajustes posturales precisos controlados por el SNC [13, 63, 264]. El déficit en la coordinación, con el consiguiente aumento del gasto energético y de las dificultades para mantener el equilibrio [62, 326], podría explicar las frecuentes caídas que experimentan los AP, en los que la torpeza y el excesivo cansancio ante las actividades físicas resultan manifestaciones frecuentes, como se ha encontrado en el presente trabajo [216, 222, 226, 229].

La valoración clínica y neuromadurativa de los tres tipos de AP descritos apoyan lo encontrado en la baropodometría y muestran también niveles diferentes de severidad entre los tres grupos de AP diferenciados por su modelo de desarrollo del paso. Mientras que los AP de Tipo 1 del presente trabajo solamente presentaban una FD del tobillo con la rodilla flexionada

significativamente inferior a la del grupo control, los AP de Tipo 2 y de Tipo 3 mostraban una mayor pronación del pie, posible signo de dificultades en la estabilidad como las referidas en los niños con un apoyo plantígrado al comienzo de la marcha independiente [23, 37, 38, 327], y de la implicación del complejo gastrosóleo [143-145]. En este sentido, y aunque no se ha mostrado una relación directa entre la FD pasiva del tobillo y su utilización durante la marcha en AP [13, 15, 218, 256], los de Tipo 3 mostraban valores de FD dentro de los rangos de normalidad pero significativamente inferiores a los otros grupos de AP en la posición de rodilla flexionada y al grupo control en la medición con la rodilla extendida, indicando la implicación del sóleo y también de los gemelos (Tabla 33) [15, 16]. Alvarez y cols. encontraron una FD menor de 90° en los AP de Tipo 3, inferior a la de los otros grupos y fuera del rango de normalidad, lo que pudiese contribuir a la falta de apoyo de talón en este grupo de niños [13]. Sin embargo, los AP de Tipo 3 del presente trabajo no presentaron un acortamiento patológico y la elasticidad del complejo gastrosóleo junto con el mayor peso de estos niños (Tabla 32) ha podido favorecer el desarrollo de un apoyo de talón retrógrado previo al despegue del pie [26, 220], si bien el escaso número de AP clasificados en este grupo no ha permitido extraer conclusiones definitivas.

La valoración neuromadurativa sólo demostró diferencias significativas entre los tres grupos de AP en la escala de Psicomotricidad (Tabla 34), pero la comparación de cada uno de ellos con el grupo control mostró niveles progresivos de afectación del desarrollo en función del patrón baropodométrico, pues mientras los AP de Tipo 1 no mostraron diferencias significativas con él, los AP de Tipo 2 obtuvieron un centil significativamente inferior en Psicomotricidad, lo que podría explicar las dificultades en la estabilidad demostradas por estos niños durante la marcha, y los de Tipo 3 se situaron en centiles más bajos en Psicomotricidad, Memoria, Desarrollo Verbal y Desarrollo Total y en el Cociente de Desarrollo, mostrando un inferior desarrollo neuromadurativo con alteraciones ya descritas por otros autores en AP [219, 233, 272]. Estos resultados, junto con la obtención de diferencias estadísticamente significativas entre los AP y los niños del grupo control en diferentes escalas del CUMANIN (Tablas 6 y 7), apoyarían la hipótesis de que la marcha de puntillas idiopática es una manifestación más de una alteración global del neurodesarrollo [7, 231, 233, 234, 272].

La marcha de los AP del presente trabajo resulta compatible con modelos inmaduros de desarrollo del paso de carácter transitorio, expresión de un retraso psicomotor, o bien

permanente, por una alteración en la organización del patrón de marcha [138, 233, 272]. Este patrón presenta características similares a las de la marcha de los niños con PCI pero más leves [135, 266, 267] y se ha calificado como la expresión de una DCM [138, 217, 231, 233, 267]. La consideración como patrón inmaduro de marcha concuerda con el hallazgo en los AP de este trabajo de un contacto inicial del pie similar al encontrado en niños que comienzan a caminar pero con una distribución de presiones e impulsos que aporta parámetros compatibles con un desarrollo estructural del pie adecuado a su edad cronológica, con un ALI configurado [20, 23, 38-41]. La verificación de estos modelos y la estimación del carácter transitorio o permanente de los mismos, junto con la evaluación del posible desarrollo de alteraciones ortopédicas y otros problemas segmentarios o globales sólo podría realizarse con un estudio longitudinal prospectivo, fundamental para clarificar la indicación terapéutica.

El estudio de las características que presentan los AP de nuestro estudio hace referencia a los ámbitos recomendados en la valoración interdisciplinar de estos niños [217, 228, 230, 231, 233, 236]. La evaluación clínica y ortopédica, del patrón baropodométrico y del desarrollo neuromadurativo podrían facilitar la determinación de la necesidad de tratamiento, el momento de inicio y la selección del más adecuado. En esta valoración, la baropodometría podría resultar útil de forma aislada o bien como complemento a evaluación cinética y cinemática de la marcha, pues permite realizar una descripción cuantitativa del desarrollo del paso para detectar alteraciones incipientes y los cambios progresivos en los apoyos del pie [12, 23, 41, 177, 213] y establecer la gravedad de los patrones de marcha, con el objetivo de indicar el tratamiento óptimo y evaluar su efectividad [13, 256, 261]. Su relativa sencillez y facilidad de uso, en relación con otros sistemas de análisis instrumental de la marcha [12, 47, 172-174], podrían favorecer su implementación en la valoración y el seguimiento de los AP [192, 193, 213, 259].

No se han encontrado en la literatura criterios claros de indicación y de evidencia científica de los diversos tratamientos para los AP de las edades del presente trabajo [213]. Entre las opciones terapéuticas disponibles, diversos autores han considerado la utilidad de las férulas o los yesos seriados y los ejercicios en los niños pequeños con limitación de la FD del tobillo, aunque han mostrado una eficacia temporal y limitada [216, 223-226, 258]. En AP de más de 6-8 años que presenten una retracción muscular o tendinosa, la única indicación clara es la de la elongación quirúrgica del complejo gastrosóleo [223, 226, 229, 231, 234, 275], a pesar de que ha demostrado escasa eficacia sobre la mejoría del patrón de marcha en algunos

casos [224, 226, 235, 236, 255]. En ausencia de alteraciones estructurales, se ha estudiado el resultado de los tratamientos en los que combinan la toxina botulínica con férulas, un programa de ejercicios domiciliarios o fisioterapia, obteniéndose un efecto de mejoría temporal sobre el patrón de marcha, permanente en algunos casos, y de mayor persistencia con la continuidad en el tratamiento de fisioterapia [14, 256, 257]. Este abordaje desde la fisioterapia ha pasado de centrar su actuación en las alteraciones ortopédicas locales [138, 223, 226, 230, 231, 273] a una orientación más global, basada en el trabajo sobre la estabilidad, el equilibrio y la reeducación del patrón alterado [14, 16, 256].

La clasificación baropodométrica del desarrollo del paso de los AP del presente trabajo ha permitido realizar una diferenciación en tres modelos de contacto inicial del pie que parecen indicar niveles de severidad progresiva en la alteración del patrón de marcha, comparables con los establecidos por Alvarez y cols. y Jóźwiak y cols. y con características ortopédicas y neuromadurativas diferenciadas [13, 261].

Las características de la marcha de los AP de Tipo 1 de nuestra muestra indicarían en este grupo el seguimiento con evaluaciones periódicas cada 3-6 meses, señalado en la literatura como la mejor opción terapéutica en niños de esta edad [13, 213]. Desde una perspectiva de intervención precoz en edades tempranas, este seguimiento permitiría valorar el posible carácter transitorio del patrón y el desarrollo de alteraciones o compensaciones que generen riesgos ortopédicos y en las cuales pudiese realizarse un tratamiento precoz que evitara su evolución y estructuración [12]. Las dificultades psicomotoras demostradas por los AP de Tipo 2 indicarían, además del seguimiento del desarrollo del pie y de la evolución de la marcha, la necesidad en estos niños de una intervención orientada a favorecer su desarrollo sensoriomotor [12, 13, 108, 213].

En los AP de Tipo 3, la presencia de un patrón de desarrollo del paso obligatorio con un posible efecto sobre la configuración del pie y la movilidad del tobillo, y sobre los segmentos superiores, justificaría la indicación de un tratamiento conservador inmediato [218, 220, 231, 233, 236, 252]. Esta indicación ha sido reflejada en la literatura, pero sin referencias claras sobre la mejor opción terapéutica, si bien éstas se centran mayoritariamente en las limitaciones ortopédicas a nivel del tobillo [13]. En los AP de Tipo 3 del presente trabajo, además, las alteraciones del desarrollo neuromadurativo objetivadas mediante el CUMANIN los harían susceptibles de una intervención global e interdisciplinar que atendiese a todos los

aspectos comprometidos [16, 233, 234, 272], incluyendo los procesos neurocognitivos, cuya importancia ha sido destacada recientemente en AP [7, 8]. Esta intervención debería estar integrada por diversas disciplinas que favorecieran el desarrollo infantil, entre las cuales la neuropsicología, la psicomotricidad y la fisioterapia tendrían un papel fundamental [108]. Desde esta perspectiva y en función de los hallazgos en el conjunto de AP estudiados, se propone desde la fisioterapia un abordaje global capaz de integrar los aspectos perceptivos, motores y neurocognitivos, que permita el control del esquema motor alterado y su integración fisiológica en los patrones funcionales [260]. Esta metodología de trabajo ha sido aplicada en AP mediante el Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo o Método Perfetti [195, 328], cuya utilidad se ha valorado en un estudio piloto, aunque su efectividad deberá ser evaluada en futuros trabajos [193, 259].

8.7. ÁRBOLES DE DECISIÓN

La interacción entre las variables clínicas, baropodométricas y neuromadurativas se ha analizado mediante árboles de decisión, por su interés en el ámbito clínico para clasificar a los pacientes de acuerdo a sus características y por su reciente utilización para intentar comprender los vínculos entre los diversos patrones que se producen en la marcha de puntillas originada por distintas causas [264, 265, 329]. Mediante estos modelos se ha evaluado la capacidad predictiva de diversas variables clínicas, baropodométricas y neuromadurativas con respecto a aquéllas que se consideran fundamentales en la valoración de los AP.

Entre ellas, la PRCC sólo pudo ser predicha en el pie izquierdo de los AP por la FD del tobillo con la rodilla extendida (Figura 25), de forma que los niños con menores valores de FD presentaron una PRCC más elevada pero dentro de los límites de normalidad descritos para la población de estudio [151, 152], mostrando la relación entre la inferior elasticidad gastrosólea y la pronación del pie ya descrita en la literatura [143-145].

La principal variable predictora de la FD pasiva del tobillo con la rodilla extendida en los AP fue el centil de Desarrollo Total del CUMANIN, además de la presión pico bajo la zona lateral del talón derecho en los niños con un centil más bajo (Figuras 26 y 27). A pesar de que no se ha demostrado en AP una relación directa entre la limitación de la movilidad en FD de tobillo y la alteración en el apoyo del pie [13, 15, 218, 256], en nuestra muestra los AP

con un Desarrollo Total menor del centil 65 presentaron valores de FD inferiores a los 100°, amplitud mínima considerada necesaria para realizar una marcha fisiológica [330, 331].

El porcentaje de impulso del retropié fue predicho por el porcentaje de impulso del antepié en el pie izquierdo, con una relación inversa entre las dos variables en los dos grupos de niños estudiados, control y AP (Figuras 28 y 29). Sin embargo, para los mismos valores de impulso del antepié, los AP presentaban porcentajes de impulso del retropié sensiblemente inferiores a los de los niños del grupo control, lo que podría ser parcialmente explicado por su característico adelantamiento de la carga [13, 264]. En el pie derecho, predecía el porcentaje de impulso del retropié su porcentaje de tiempo de apoyo, junto con otras variables baropodométricas en los niños del grupo control (Figuras 30 y 31). Las diferencias entre los dos pies pudiesen relacionarse con las funciones “de carga” y “dinámica” que adoptan el pie izquierdo y el derecho, respectivamente, en función de la lateralidad [125].

El centil de Desarrollo Total del CUMANIN sólo pudo predecirse en los AP a partir de la edad, con una relación inversa que no había sido reflejada en ninguno de los trabajos revisados [7, 219, 233, 272]. Asimismo, los AP de menor edad y con un retropié más pronado, con una PRCC izquierda superior a los 6° de valgo, presentaban un inferior desarrollo neuromadurativo (Figuras 32 y 33).

Estos resultados demostraron que en los AP de mayor edad existía un riesgo ortopédico superior, debido a la limitación de la FD del tobillo y a la pronación del retropié, y un menor desarrollo neuromadurativo. Esta interrelación, que ha sido confirmada en los AP de Tipo 3 de la muestra estudiada y discutida en varios trabajos pero sin resultados concluyentes [7, 13, 16, 233], destaca la necesidad de considerar en los AP, además de las características ortopédicas, las alteraciones del desarrollo. Los modelos de estimación deberían someterse a un proceso de validación, antes de extraer conclusiones definitivas que pudiesen conducir a la toma de decisiones clínicas, y la realización de estudios longitudinales prospectivos con cohortes más amplias mejoraría el conocimiento sobre la historia natural de los AP y los posibles factores pronósticos. La intervención en ellos de un equipo multidisciplinar facilitaría la realización de un análisis más exhaustivo, que permitiese la integración de los múltiples aspectos del desarrollo infantil y sus cambios comportamentales, tanto desde el punto de vista biomecánico como neuromadurativo [233]. Esto permitiría

proponer protocolos de valoración y terapéuticos adecuados a las características de los AP y evaluar su validez y efectividad.

CONCLUSIONES

9. CONCLUSIONES

1. Entre las características descriptivas y la anamnesis de los andadores de puntillas de la muestra estudiada destaca la presencia de un mayor porcentaje de varones, de una historia familiar positiva y de factores de riesgo biológico durante el período perinatal.
2. En la valoración clínica los andadores de puntillas presentan una menor dorsiflexión del tobillo en la medición con la rodilla flexionada y una mayor pronación, objetivada en la posición relajada del calcáneo en carga, el ángulo de pronación y el test de la caída del navicular.
3. En la observación de las huellas plantares destacan la mayor presencia de un pico de pronación en los andadores de puntillas, junto con una disminución del apoyo de talón exclusiva en este grupo de niños.
4. Los andadores de puntillas presentan valores significativamente inferiores en la evaluación neuromadurativa para las escalas de Psicomotricidad, Memoria, Desarrollo Verbal, Desarrollo No Verbal y Desarrollo Total, además de una menor definición de la lateralidad podálica.
5. El análisis baropodométrico de la marcha no muestra un patrón específico de distribución de presiones en los andadores de puntillas, aunque tengan ciertos rasgos diversos como el desplazamiento anterior del impulso, con presiones pico inferiores en el talón y el mediopié y el adelantamiento del apoyo de las diferentes zonas del pie excepto del talón, cuyo contacto se efectúa de forma tardía acompañado de un despegue precoz.
6. A partir de las características baropodométricas del apoyo inicial del pie de los andadores de puntillas se pueden diferenciar tres modelos de desarrollo del paso, relacionados con características clínicas y neuromadurativas específicas, que permitirían establecer una graduación de severidad y una posible indicación terapéutica para cada uno de ellos.

9.1. CONCLUSIONI

1. Tra le caratteristiche e l'anamnesi degli camminatori sulle punte nel nostro campione si distingue la presenza di una più alta percentuale di bambini con una storia familiare positiva e fattori di rischio neurologico durante il periodo perinatale.
2. Nella valutazione clinica gli camminatori sulle punte presentano una flessione dorsale della caviglia inferiore a ginocchio flesso e una maggiore pronazione del piede, oggettivata in posizione rilassata del calcagno sotto carico, l'angolo di pronazione e nel test di caduta dello scafoide.
3. L'osservazione dell'impronte dei piedi degli camminatori sulle punte rivela maggior presenza d'un picco di pronazione e riduzione dell'appoggio del tallone, esclusiva di questo gruppo di bambini.
4. I camminatori sulle punte presentano risultati significativamente più bassi nella valutazione neuromaturativa nelle scale di Psicomotricità, Memoria, Sviluppo Verbale, Non Verbale e Totale, ed una definizione più bassa della lateralità podale.
5. L'analisi baropodometrica del cammino non mostra un pattern specifico di distribuzione di pressioni negli camminatori sulle punte, anche se hanno alcune caratteristiche differenti come lo spostamento anteriore dell'impulso, pressioni di picco più bassi nel tallone e nel mesopiede, in corrispondenza con l'appoggio anticipato delle diverse aree del piede ad eccezione del tallone, il cui contatto si fa in ritardo ed è accompagnato da un distacco precoce.
6. In base alle caratteristiche baropodometriche dell'appoggio iniziale del piede degli camminatori sulle punte si possono differenziare tre diversi modelli di sviluppo del passo, associati a specifiche caratteristiche cliniche e neuromaturative, che permetterebbero stabilire una graduazione della severità e una possibile indicazione terapeutica per ciascuno di loro.

BIBLIOGRAFÍA

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Viel E, coord. La marcha humana, la carrera y el salto. Biomecánica, exploraciones, normas y alteraciones. Barcelona: Masson 2002.
- [2] Bril B, Ledebt A. Head coordination as a means to assist sensory integration in learning to walk. *Neurosci Biobehav Rev.* 1998;22(4):555-63.
- [3] Zwart R, Ledebt A, Fong BF, De Vries H, Savelsbergh GJP. The affordance of gap crossing in toddlers. *Infant Behav Dev.* 2005;28:145-54.
- [4] Assaiante C, Amblard B. Peripheral vision and age-related differences in dynamic balance. *Hum Mov Sci.* 1992;11:533-48.
- [5] Metcalfe JS, Clark JE. Sensory information affords exploration of posture in newly walking infants and toddlers. *Infant Behav Dev.* 2000;23:391-405.
- [6] Dal Molin G. Il cammino: studiarlo per poterlo rieducare. Riabilitazione e apprendimento. 1994;3/4:153-62.
- [7] Williams CM, Tinley P, Curtin M. Idiopathic toe walking and sensory processing disfunction. *J Foot Ankle Res.* 2010;3:16-20.
- [8] Crenna P, Marzegan A, Salvadori L, Sandrin L. Effects of a cognitive task on gait kinematics of habitual toe walkers. *Gait Posture.* 2005;21(1):S84.
- [9] Jensen JL. The puzzles of motor development: how the study of developmental biomechanics contributes to the puzzle solutions. *Inf Child Dev.* 2005;14:501-11.
- [10] Sutherland D. The development of mature gait. *Gait Posture.* 1997;6:163-70.
- [11] Pauk J, Daunoraviciene K, Ihnatouski M, Griskevicius J, Raso JV. Analysis of the plantar pressure distribution in children with foot deformities. *Acta Bioeng Biomech.* 2010;12(1):29-34.
- [12] Raciti G, Ardito S, Tirro S. Electronic podometry in the prevention of flatfeet in children. *Eur Medicophys.* 1998;34(I):3338-40.
- [13] Alvarez C, Vera M, Beauchamp R, Ward V, Black A. Classification of idiopathic toe walking based on gait analysis: Development and application of the ITW severity classification. *Gait Posture.* 2007;26:428-35.
- [14] Brunt D, Woo R, Kim HD, Ko MS, Senesac C, Li S. Effect of botulinum toxin type A on gait of children who are idiopathic toe-walkers *J Surg Orthop Adv.* 2004;13(3):149-55.
- [15] Crenna P, Fedrizzi E, Andreucci E, Frigo C, Bono R. The heel-contact gait pattern of habitual toe walkers. *Gait Posture.* 2005;21:311-7.
- [16] Clark E, Sweeney JK, Yocum A, McCoy SW. Effects of motor control intervention for children with idiopathic toe walking: a 5-case series. *Pediatr Phys Ther.* 2010;22:417-26.
- [17] Roselli P, Duplat JL, Uribe IC, Turriago CA. *Ortopedia Infantil.* Bogotá: Editorial Médica Panamericana 2005.
- [18] Thompson P, Volpe R. Introduction to Podopediatrics. 2ª ed. Edinburgh: Churchill Livingstone 2001.
- [19] Orejana AM, Fuentes Y. Evolución del pie y del miembro inferior durante la infancia [Documento inédito]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid 2002.
- [20] Hennig EM, Staats A, Rosenbaum D. Plantar pressure distribution patterns of young school children in comparison to adults. *Foot Ankle Int.* 1994;15:35-40.
- [21] Nakai T, Takakura Y, Sugimoto K, Tamai S, Kurumatani N. Morphological changes of the ankle in children as assessed by radiography and arthrography. *J Orthop Sci.* 2000;5(2):134-8.
- [22] Fixsen JA. Problem feet in children. *J R Soc Med.* 1998;91:18-22.
- [23] Hallemans A, De Clercq D, Van Dongen S, et al. Changes in foot-function parameters during the first 5 months after the onset of independent walking: a longitudinal follow-up study. *Gait Posture.* 2006;23(2):142-8.
- [24] Mickle KJ, Steele JR, Munro BJ. Is the foot structure of preschool children moderated by gender? *J Pediatr Orthop.* 2008;28(5):593-6.
- [25] Root ML, Orient WP, Weed JH, Hughes RJ. Exploración biomecánica del pie Madrid: Ortocen, D.L. 1991.
- [26] Prat J, coord. Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia 1999.
- [27] Perry J, ed. Gait Analysis. Normal and Pathological Function. Thorofare: SLACK Inc 1992.
- [28] Burnett CN, Johnson EW. Development of gait in childhood: Part II. *Dev Med Child Neurol.* 1971;13:207-15.
- [29] Delarque A, Mesure S, Rubino T, Curvale G, Bardot A. Bilan articulaire de l'articulation talocrurale (cheville) et du pied chez l'adulte. *Encycl Méd Chir, Kinésithérapie-Rééducation fonctionnelle.* Paris: Elsevier 1998:14 p.
- [30] Statham L, Murray MP. Early walking patterns of normal children. *Clin Orthop.* 1971;79:8-24.

- [31] Sutherland DH, Olsen R, LesCooper L, Woo S. The development of mature gait. *J Bone Joint Surg.* 1980;62(3):336-53.
- [32] Brenière Y, Bril B. Development of postural control of gravity forces in children during the first 5 years of walking. *Exp Brain Res.* 1998;121:255-62.
- [33] Chang CL, Kubo M, Buzzi U, Ulrich B. Early changes in muscle activation patterns of toddlers during walking. *Infant Behav Dev.* 2006;29:175-88.
- [34] Forssberg H. Ontogeny of human locomotor control. I. Infant stepping, supported locomotion, and transition to independent locomotion. *Exp Brain Res.* 1985;57:480-93.
- [35] Okamoto T, Okamoto K, Andrew PD. Electromyography developmental changes in one individual from newborn stepping to mature walking. *Gait Posture.* 2003;17:18-27.
- [36] Hutton W, Dhanendran M. A study of the distribution of load under the normal foot during walking. *Int Orthop.* 1979;3:153-7.
- [37] Hallemans A, D'Aôut K, Clercq D, Aerts P. Pressure distribution patterns under the feet of new walkers: the first two months of independent walking. *Foot Ankle.* 2003;24(5):444-53.
- [38] Bertsch C, Unger H, Winkelmann W, et al. Evaluation of early walking patterns from plantar pressure distribution measurements. First year results of 42 children. *Gait Posture.* 2004;19(3):235-42.
- [39] Alvarez C, Vera M, Chhina H, Black A. Normative data for the dynamic pedobarographic profiles of children. *Gait Posture.* 2008;28(2):309-15.
- [40] Bosch K, Gerss J, Rosenbaum D. Preliminary normative values for foot loading parameters of the developing child. *Gait Posture.* 2007;26:238-47.
- [41] Bosch K, Gerss J, Rosenbaum D. Development of healthy children's feet - Nine-year results of a longitudinal investigation of plantar loading patterns. *Gait Posture.* 2010;32:564-71.
- [42] Bosch K, Rosenbaum D. Gait symmetry improves in childhood - A 4-year follow-up of foot loading data. *Gait Posture.* 2010;32:464-8.
- [43] Unger H, Rosenbaum D. Gender-specific differences of the foot during the first year of walking. *Foot Ankle Int.* 2004;25(8):582-7.
- [44] Hennig EM, Rosenbaum D. Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. *Foot Ankle.* 1991;11:306-11.
- [45] Bosch K, Nagel A, Weigend L, Rosenbaum D. From "first" to "last" steps in life - Pressure patterns of three generations. *Clin Biomech.* 2009;24:676-81.
- [46] Chang WN, Hsu CJ, Won CY. The impact of foot progression angle on foot pressure measurement in normal children. *Gait Posture.* 2006;24S:S98-S289.
- [47] Coll MD, Pasarin A. Estudio baropodométrico de los valores de normalidad en la marcha del niño. *Mapfre Medicina.* 1994;5(1):19-23.
- [48] Kellis E. Plantar pressure distribution during barefoot standing, walking and landing in preschool boys. *Gait Posture.* 2001;14:92-7.
- [49] Hee HT, Lee EH, Lee GSM. Gait and pedobarographic patterns of surgically treated clubfeet. *J Foot Ankle Surg.* 2001;40(5):287-94.
- [50] Huber H, Dutoit M. Dynamic foot-pressure measurement in the assessment of operatively treated clubfeet. *J Bone Joint Surg.* 2004;86A(6):1203-10.
- [51] Bennet D, Walsh M, O'Sullivan R, Gallagher J, O'Brien T, Newman CJ. Use of a Dynamic Foot Pressure Index to monitor the effects of treatment for equinus gait in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(3):288-94.
- [52] Femery V, Moretto P, Renaut H, Thévenon A, Lensel G. Measurement of plantar pressure distribution in hemiplegic children: changes to adaptative gait patterns in accordance with deficiency. *Clin Biomech* 2002;17:406-13.
- [53] Chang WN, Tsirikos AI, Miller F, Schuyler J, Glutting J. Impact of changing foot progression angle on foot pressure measurement in children with neuromuscular diseases. *Gait Posture.* 2004;20:14-9.
- [54] Angulo MT. La marcha en la infancia. *Rev Ortop Traumatol (Madr)* 1996;40:187-94.
- [55] Dominici N, Ivanenko YP, Lacquaniti F. Control of foot trajectory in walking toddlers: adaptation to load changes. *J Neurophysiol.* 2007;97:2790-801.
- [56] Grimshaw PN, Marques-Bruna P, Salo A, Messenger N. The 3-dimensional kinematics of the walking cycle of children aged between 10 and 24 months: cross sectional and repeated measures. *Gait Posture.* 1998;7:7-15.
- [57] Sutherland DH, Olsen R, Biden E, Wyatt M. *The Development of Mature Walking.* Oxford: MacKeith Press 1989.
- [58] Austad H, Van der Meer ALH. Prospective dynamic balance control in healthy children and adults. *Exp Brain Res.* 2007;181:289-95.
- [59] Brandes M, Zijlstra W, Heikens S, Van Lummel R, Rosenbaum D. Accelerometry based assessment of gait parameters in children. *Gait Posture.* 2006;24:482-6.

- [60] Ivanenko YP, Dominici N, Cappellini G, Dan B, Cheron G, Lacquaniti F. Development of pendulum mechanism and kinematic coordination from the first unsupported steps in toddlers. *J Exp Biol.* 2004;207:3797-810.
- [61] Holt KG, Saltzman E, Ho CL, Kubo M, Ulrich BD. Discovery of the pendulum and spring dynamics in the early stages of walking. *J Mot Behav.* 2006;38(3):206-18.
- [62] Hof AL, Gazendam MGJ, Sinke WE. The condition for dynamic stability. *J Biomech.* 2005;38:1-8.
- [63] Lacquaniti F, Ivanenko YP, Zago M. Kinematic control of walking. *Arch Ital Biol.* 2002;140:263-72.
- [64] Prilutsky BI, Isaka T, Albrecht AM, et al. Is coordination of two-joint leg muscles during load lifting consistent with the strategy of minimum fatigue? *J Biomech.* 1998;31:1025-34.
- [65] Jucaite A, Fernell E, Forssberg H, Hadders-Algra M. Deficient coordination of associated postural adjustments during a lifting task in children with neurodevelopmental disorders. *Dev Med Chil Neurol.* 2003;45:731-42.
- [66] Leonard EL. Early motor development and control: Foundations for independent walking. In: Smith GL, ed. *Gait in Rehabilitation Clinics in Physical Therapy*. New York: Churchill Livingstone 1990:121-40.
- [67] Gesell A. El niño de 1 a 5 años. Guía para el estudio del niño preescolar. Barcelona: Paidós Ibérica 1997.
- [68] Thelen E, Kelso JAS, Fogel A. Self-organizing systems and infant motor development. *Dev Rev.* 1987;7:39-65.
- [69] Kamm K, Thelen E, Jensen JL. A dynamical systems approach to motor development. *Phys Ther.* 1990;70:763-75.
- [70] Zelazo PR. The development of walking: New findings and old assumptions. *J Mot Behav.* 1983;15(2):99-137.
- [71] Thelen E, Cooke DW. Relationship between newborn stepping and later walking: A new interpretation. *Dev Med Child Neurol.* 1987;29(3):380-93.
- [72] Zelazo PR, Leonard EL. The dawn of active thought. In: Fisher KW, ed. *Levels and Transitions in Children's Development*. San Francisco: Jossey-Bass 1983:37-50.
- [73] Cooke DW, Thelen E. Newborn stepping: A review of puzzling infant co-ordination. *Dev Med Chil Neurol.* 1987;29(3):399-404.
- [74] Schneider K, Zernicke RF, Ulrich BD, Jensen JL, Thelen E. Understanding movement control in infants through the analysis of limb intersegmental dynamics. *J Mot Behav.* 1990;22(4):493-520.
- [75] Thelen E, Ulrich BD, Niles D. Bilateral coordination in human infants: stepping on a split-belt treadmill. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1987;13(3):405-10.
- [76] Ivanenko YP, Dominici N, Cappellini G, Lacquaniti F. Kinematics in newly walking toddlers does not depend upon postural stability. *J Neurophysiol.* 2005;94:754-63.
- [77] Yang JF, Lam T, Pang MYC, Lamont E, Musselman K, Seinen E. Infant stepping: a window to the behaviour of the human pattern generator for walking. *Can J Physiol Pharmacol.* 2004;82:662-74.
- [78] Clark JE, Whittall J, Phillips SJ. Human interlimb coordination: The first 6 months of independent walking. *Dev Psychobiol.* 1988;21:445-56.
- [79] Lamb T, Yang JF. Could different directions of infant stepping be controlled by the same locomotor central pattern generator? *J Neurophysiol.* 2000;83:2814-24.
- [80] Assaiante C, Mallau S, Viel S, Jover M, Schmitz C. Development of postural control in healthy children: a functional approach. *Neural Plast.* 2005;12(2-3):109-18.
- [81] Jensen JL, Schneider K, Ulrich BD, Zernicke RF, Thelen E. Adaptive dynamics of the leg movement patterns of human infants: I. The effects of posture on spontaneous kicking. *J Mot Behav.* 1994;26(4):303-12.
- [82] Sundermier L, Woollacott MH, Roncesvalles N, Jensen J. The development of balance control in children: comparisons of EMG and kinetic variables and chronological and developmental groupings. *Exp Brain Res.* 2001;136:340-50.
- [83] Bril B, Brenière Y. Postural requirements and progression velocity in young walkers. *J Mot Behav.* 1992;24:105-16.
- [84] Petersen TH, Kliim-Due M, Farmer SF, Nielsen JB. Childhood development of common drive to a human leg muscle during ankle dorsiflexion and gait. *J Physiol.* 2010;588(Pt 22):4387-400.
- [85] Ledebt A, Bril B, Wiener-Vacher S. Trunk and head stabilization during the first months of independent walking. *Neuroreport.* 1995;6:1737-40.
- [86] Cavagna GA, Franzetti P, Fuchimoto T. The mechanics of walking in children. *J Physiol* 1983;343:323-39.
- [87] Assaiante C, Amblard B. Visual factors in the child gait: effects on locomotor skills. *Percept Mot Skills.* 1996;83:1019-41.
- [88] Ledebt A, Brenière Y. Dynamic implications of anatomical and mechanical parameters in gait initiation process in children. *Hum Mov Sci.* 1994;13:801-15.

- [89] Hirschfeld H, Forssberg H. Development of anticipatory postural adjustments during locomotion in children. *J Neurophysiol.* 1992;68:542-9.
- [90] Ledebt A, Bril B, Brenière Y. The build-up of anticipatory behaviour. An analysis of the development of gait initiation in children. *Exp Brain Res.* 1998;120(1):9-17.
- [91] Roncesvalles MNC, Woollacott MH, Jensen JL. Development of lower extremity kinetics for balance control in infants and young children. *J Mot Behav.* 2001;33(2):180-92.
- [92] Fogel A, Thelen E. Development of early expressive and communicative action. Reinterrupting the evidence from a dynamic systems perspective. *Dev Psychol.* 1987;23:747.
- [93] Angulo-Kinzler RM, Ulrich B, Thelen E. Three-month-old infants can select specific leg motor solutions. *Motor Control.* 2002;6(1):52-68.
- [94] Adolph KE, Avolio AM. Walking infants adapt locomotion to changing body dimensions. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 2000;26(3):1148-66.
- [95] Thelen E. Motor development. A new synthesis. *Am Psychol.* 1995;50(2):79-95.
- [96] Clearfield MW, Osborne CN, Mullen M. Learning by looking: Infants' social looking behavior across the transition from crawling to walking. *J Exp Child Psychol.* 2008;100:297-307.
- [97] Berger SE, Adolph KE. Learning and development in infant locomotion. *Prog Brain Res.* 2007;164:237-55.
- [98] Joh AS, Adolph KE. Learning from falling. *Child Dev.* 2006;77(1):89-102.
- [99] Adolph KE. Learning to move. *Curr Dir Psychol Sci.* 2008;17(3):213-8.
- [100] Lam T, Wolstenholme C, Yang JF. How do infants adapt to loading of the limb during the swing phase of stepping? *J Neurophysiol.* 2003;89:1920-8.
- [101] Adolph KE, Eppler MA, Marin L, Weise IB, Wechsler M. Exploration in the service of prospective control. *Infant Behav Dev.* 2000;23:441-60.
- [102] Adolph KE, Vereijken B, ShROUT PE. What changes in infant walking and why. *Child Dev.* 2003;74(2):475-97.
- [103] Adolph KE, Tamis-LeMonda CS, Ishak S, Karasik LB, Lobo SA. Locomotor experience and use of social information are posture specific. *Dev Psychol.* 2008;44(6):1705-14.
- [104] Cherng RJ, Liang LY, Chen YJ, Chen JY. The effects of a motor and a cognitive concurrent task on walking in children with developmental coordination disorder. *Gait Posture.* 2009;29:204-7.
- [105] Vidal M. Estimulación temprana (de 0 a 6 años): Desarrollo de capacidades, valoración y programas de intervención. Volumen 3: Valoración del desarrollo de capacidades y programas de estimulación. Madrid: CEPE 2007.
- [106] Portellano JA. Neuropsicología infantil. Madrid: Síntesis 2007.
- [107] Collado S. Análisis de la marcha humana con plataformas dinámicas, influencia del transporte de carga [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2002.
- [108] Vidal M. Estimulación temprana (de 0 a 6 años): Desarrollo de capacidades, valoración y programas de intervención. Volumen 2: Desarrollo de capacidades e intervención temprana. Madrid: CEPE 2007.
- [109] Cairo FJ, Blanco RF. Ámbito de la Atención temprana. Factores de riesgo. *Rehabilitacion (Madr).* 1997;31:477-80.
- [110] Chávez R. Neurodesarrollo Neonatal e Infantil. Un enfoque multi, inter y transdisciplinario para la prevención del daño. México DF: Editorial Médica Panamericana 2003.
- [111] Portellano JA, Mateos R, Martínez-Arias R, Tapia A, Granados MJ. Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Infantil (CUMANIN). Madrid: TEA Ediciones 2000.
- [112] Portellano JA, Mateos R, Valle M, Arizcun J, Martínez-Arias R. Trastornos neuropsicológicos en niños de muy bajo peso al nacer en edad preescolar. *Acta Ped Esp.* 1997;55:375-9.
- [113] Arizcun J, Guerra R, Valle M. Programa de Control Prospectivo. Poblaciones de alto riesgo de deficiencias. *An Esp Pediatr* 1999;63(supl.):26-32.
- [114] De Inocencio J, Ocaña I, Benito L. Laxitud articular: prevalencia y relación con dolor musculoesquelético. *An Pediatr (Barc).* 2004;61(2):162-6.
- [115] Connors JF, Wernick E, Lowy LJ, Falcone J, Volpe RG. Guidelines for Evaluation and Management of Five Common Podopediatric Conditions. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1998;88(5):206-22.
- [116] El O, Alkali O, Kosay C, Kaner B, Arslan Y, Sagol E, et al. Flexible flatfoot and related factors in primary school children: a report of screening study. *Rheumatol Int.* 2006;26:1050-3.
- [117] Lin CJ, Lai KA, Kuan TS, et al. Correlating factors and clinical significance of flexible flatfoot in preschool children. *J Pediatr Orthop.* 2001;21:378-82.
- [118] Vougiouka O, Moustaki M, Tsanaktis M. Benign hypermobility syndrome in Greek school children *Eur J Pediatr.* 2000;159(8):628.
- [119] Chen JP, Chung MJ, Wang MJ. Flatfoot prevalence and foot dimensions of 5- to 13-year-old children in Taiwan. *Foot Ankle Int.* 2009;30(4):326-32.

- [120] Pfeiffer M, Kotz R, Ledl T, Hauser G, Sluga M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics*. 2006;118:634-9.
- [121] Dutoit M, Zambelli PY, Fragnière B. Mon enfant marche mal. Les anomalies du morphotype des membres inférieurs *Rev Med Suisse* 2006;2:2902-6.
- [122] Echarri JJ, Forriol F. The development in footprint morphology in 1851 Congolese children from urban and rural areas, and the relationship between this and wearing shoes. *J Pediatr Orthop*. 2003;12:141-6.
- [123] Levitt S. Tratamiento de la parálisis cerebral y del retraso motor. 3ª ed. Madrid: Panamericana 2002.
- [124] Spreen O, Risser AT, Edgell D. Cerebral Lateralization. In: Spreen O, Risser AT, Edgell D, eds. *Developmental Neuropsychology*. New York: Oxford University Press 1995:81-101.
- [125] Zifchock RA, Davis I, Hillstrom H, Song J. The effect of gender, age and lateral dominance on arch height and arch stiffness. *Foot Ankle Int*. 2006;27(5):367-72.
- [126] Sadeghi H, Allard P, Prince F, Labelle H. Symmetry and limb dominance in able-bodied gait: a review. *Gait Posture*. 2000;12:34-45.
- [127] Rachkidi R, Ghanem I, Kalouche I, El Hage S, Dagher F, Kharrat K. Is visual estimation of passive range of motion in the pediatric lower limb valid and reliable. *BMC Musculoskelet Disord*. 2009;10:126-35.
- [128] Norkin CC, White DJ. Goniometría. Evaluación de la movilidad articular Madrid: Marbán 2006.
- [129] Gajdosik R, Lusin G. Hamstring muscle tightness. Reliability of an active-knee-extension test. *Phys Ther*. 1983;7:1085-90.
- [130] Rolls A, George K. The relationship between hamstring muscle injuries and hamstring muscle length in young elite footballers. *Phys Ther Sports*. 2004;5:179-87.
- [131] Santonja F, Pastor A. Cortedad isquiosural y actitud cifótica lumbar. *Selección*. 2003;12(3):150-4.
- [132] Gajdosik RL. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomech*. 2001;16:87-101.
- [133] Ten Berge SR, Halbertsma JP, Maathuis PG, Verheij NP, Dijkstra PU, Maathuis KG. Reliability of popliteal angle measurement: a study in cerebral palsy patients and healthy controls. *Pediatr Orthop*. 2007;27(6):648-52.
- [134] Rose J, Martin JG, Torburn L, Rinsky LA, Gamble JG. Electromyographic differentiation of diplegic cerebral palsy from idiopathic toe walking: involuntary coactivation of the cuadriceps and gastrocnemius. *J Pediatr Orthop*. 1999;19:677-82.
- [135] Policy JF, Torburn L, Rinsky L, Rose J. Electromyographic test to differentiate mild diplegic cerebral palsy and idiopathic toe-walking. *J Pediatr Orthop*. 2001;21:784-9.
- [136] Péjin Z, Pannier S, Glorion C. La marche sur la pointe des pieds [Toe Walker]. *Arch Pediatr*. 2010;17(9):1368-72.
- [137] DiGiovanni CW, Langer P. The role of isolated gastrocnemius and combined achilles contractures in the flatfoot. *Foot Ankle Clin N Am*. 2007;12:363-79.
- [138] Furrer F, Deonna T. Persistent toe-walking in children. *Helvetica Pediatr Acta*. 1982;37:301-16.
- [139] Calvo-Guisado M, Díaz-Borrego P, J González-García de Velasco, Fernández-Torrico J, Conejero-Casares J. Tres técnicas de medición de la flexión dorsal del tobillo: fiabilidad inter e intraobservador. *Rehabilitacion (Madr)*. 2007;51(5):200-6.
- [140] Clapper MP, Wolf SL. Comparison of the reliability of the Orthoranger and the standard goniometer for assessing active lower extremity range of motion. *Phys Ther*. 1988;68:214-8.
- [141] Greene WB, Heckman JD, eds. The clinical measurement of joint motion: American Academy of Orthopaedic Surgeons. Chicago: American Academy Of Orthopaedic Surgeons 1994.
- [142] Cleland J. NETTER. Exploración clínica en ortopedia. Un enfoque para fisioterapeutas basado en la evidencia. Barcelona: Masson 2006.
- [143] Whitford D, Esterman A. A randomized controlled trial of two types of in-shoe orthoses in children with flexible excess pronation of the feet. *Foot Ankle Int*. 2007;28(6):715-23.
- [144] Reimers J, Pedersen B, Brodersen A. Foot deformity and the length of the triceps surae in Danish children between 3 and 17 years old. *J Pediatr Orthop B*. 1995;4(1):71-3.
- [145] Staheli LT. Planovalgus foot deformity. Current status. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1999;89(2):94-9.
- [146] Razeghi M, Batt ME. Foot type classification: a critical review of current methods. *Gait Posture*. 2002;15:282-91.
- [147] Lee JH, Sung IY, Yoo JY. Clinical o radiologic measurements and 3-D gait analysis in children with pes planus. *Pediatr Int*. 2009;51(2):201-5.
- [148] Harris EJ, Vanore JV, Thomas JL, et al. Clinical Practice Guideline Pediatric Flatfoot Panel of the Americal College of the Foot and Ankle Surgeons. *J Foot Ankle Surg*. 2004;43:341-73.
- [149] Sobel E, Levitz S, Caselli M, Brentnall Z, Tran MQ. Natural history of the rearfoot angle: preeliminary values in 150 children. *Foot Ankle Int*. 1999;29(2):119-25.
- [150] Menz HB. Clinical hindfoot measurement: a critical review of the literature. *Foot*. 1995;5(2):57-64.

- [151] Sobel E, Levitz SL, Caselli MA, Tran M, Lepore F, Lilja E, et al. Reevaluation of the relaxed calcaneal stance position. Reliability and normal values in children and adults. *J Am Podiatr Med Assoc.* 1999;89(5):258-64.
- [152] Evans AM, Cooper AW, Scharfbillig RW, Scutter SD, Williams MT. Reliability of the Foot Posture Index and Traditional Measures of Foot Position. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2003;93(3):203-13.
- [153] Kanatli U, Gözil R, Besli K, Yetkin H, Bölükbaşı S. The relationship between the hindfoot angle and the medial longitudinal arch of the foot. *Foot Ankle Int.* 2006;27(8):623-7.
- [154] Rose GK, Welton EA, Marshall T. The diagnosis of flat foot in the child. *J Bone Joint Surg.* 1985;67B:71-8.
- [155] Jonson SR, Gross MT. Intraexaminer reliability, interexaminer reliability, and mean values for nine lower extremity skeletal measures in healthy naval midshipmen. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1997;25:253-63.
- [156] McPoil TG, Cornwall MW. Relationship between neutral subtalar joint position and pattern of rearfoot motion during walking. *Foot Ankle Int.* 1994;15(3):141-5.
- [157] McPoil TG, Cornwall MW. Relationship between three static angles of the rearfoot and the pattern of rearfoot motion during walking. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1996;23(6):370-75.
- [158] Saltzman CL, Nawoczenski DA, Talbot KD. Measurement of the medial longitudinal arch. *Arch Phys Med Rehabil.* 1995;76:45-9.
- [159] Williams DS, McClay IS. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Phys Ther.* 2000;80(9):864-71.
- [160] McPoil TG, Cornwall MW, Medoff L, Vicenzino B, Forsberg K, Hilz D. Arch height change during sit-to-stand: an alternative for the navicular drop test. *J Foot Ankle Res.* 2008;1(1):3.
- [161] Franettovich MM, McPoil TG, Russel T, Skardoon G, Vicenzino B. The ability to predict dynamic foot posture from static measurements. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2007;97(2):115-20.
- [162] Brody DM. Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. *Orthop Clin North Am.* 1982;13(3):541-58.
- [163] Hawes MR, Nachbauer W, Sovak D, Nigg BM. Footprint parameters as a measure of arch height. *Foot Ankle.* 1992;13(1):22-6.
- [164] Razeghi M, Batt ME. Biomechanical analysis of the effect of orthotic shoe inserts: A review of the literature. *Sports Med.* 2000;29(6):425-38.
- [165] Sell KE, Verity TM, Worrell TW, Pease BJ, Wigglesworth J. Two measurement techniques for assessing subtalar joint position: a reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;19(3):162-7.
- [166] Tudor A, Ruzic L, Sestan B, Sirola L, Prpic T. Flat-footed is not a disadvantage for athletic performance in children aged 11 to 15 years. *Pediatrics.* 2009;123:e386-92.
- [167] Kanatli U. Footprint and radiographic analysis of the feet. *J Pediatr Orthop.* 2001;21:225-8.
- [168] Staheli LT, Chew DE, Corbett M. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(3):426-8.
- [169] Viladot A, Viladot R, eds. *Veinte lecciones sobre patología del pie.* Barcelona: Ediciones Mayo 2009.
- [170] Dahle LK, Mueller MJ, Delitto A, Diamond JE. Visual assessment of foot type and relationship of foot type to lower extremity injuries. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1991;14(2):70-4.
- [171] Chuter VH. Relationships between foot type and dynamic rearfoot frontal plane motion. *J Foot Ankle Res.* 2010;June 16(3):9.
- [172] Sutherland DH. The evolution of clinical gait analysis part I: kinesiological EMG. *Gait Posture.* 2001;14:61-70.
- [173] Sutherland DH. The evolution of clinical gait analysis part III - kinetics and energy assessment. *Gait Posture.* 2005;21:447-61.
- [174] Sutherland DH. The evolution of clinical gait analysis part II Kinematics. *Gait Posture.* 2002;16:159-79.
- [175] Skaggs DL, Rethlefsen SA, Kay RM, Dennis SW, Reynolds RAK, Tolo VT. Variability in gait analysis interpretation. *J Pediatr Orthop.* 2000;20:759-64.
- [176] Gómez F. *Análisis de la marcha con plataformas de fuerza en pacientes con artroplastia de rodilla [Tesis Doctoral]* Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2004.
- [177] Comín M, Villarroja A, Pérez JM, Nerín S, Marco C. *Análisis de las presiones plantares. Técnicas y aplicaciones.* Med Rehabil. 1999;XII(3):22-30.
- [178] Comín M, Pérez JM, Villarroja A, Nerón S, Moros T. Factores que influyen en las presiones plantares. *Med Rehabil.* 1999;12(3):31-9.
- [179] Montañola A. *Sistema de análisis plantar y biomecánico de la marcha mediante plataformas electrónicas.* Podol Clin 2004;Monográfico:38-49.
- [180] Chaler J, Garreta R, Müller B. *Técnicas instrumentales de diagnóstico y evaluación en rehabilitación: estudio de la marcha.* Rehabilitacion (Madr). 2005;39(6):305-14.

- [181] Rose NE, Feiwell LA, Cracchiolo A. Method for measuring foot pressures using a high resolution, computerized insole sensor: the effect of heel wedges on plantar pressure distribution and center of force. *Foot Ankle Int.* 1992;13(5):263-70.
- [182] Akhalaghi F, Daw J, Pepper M, Potter MJ. In shoe step to step variations. *Foot.* 1994;4:62-8.
- [183] Nicolopoulous CS, Anderson EG, Solomonidis SE, Giannoudis PV. Evaluation of the gait analysis FSCAN pressure system: clinical tool or toy? *Foot.* 2000;10(124-30).
- [184] Woodburn J, Helliwell PS. Observations of the F-Scan in-shoe pressure measuring system. *Clin Biomech.* 1996;11(5):301-4.
- [185] Jameson EG, Davids JR, Anderson JP, Davis RB, Blackhurst DW, Christopher LM. Dynamic pedobarography for children: use of the center of pressure progression. *J Pediatr Orthop.* 2008;28(2):254-8.
- [186] Bruner E, Mantini S, Guerrini V, Ciccarelli A, Giombini A, Borriore P, et al. Preliminary shape analysis of the outline of the baropodometric foot: patterns of covariation, allometry, sex and age differences, and loading variations. *J Sports Med Phys Fitness.* 2009;49:246-54.
- [187] Liu XC, Thometz JG, Tassone C, Barker B, Lyon R. Dynamic plantar pressure measurement for the normal subject. Free-mapping model for the analysis of pediatric foot deformities. *J Pediatr Orthop.* 2004;25(1):103-6.
- [188] Oladeji O, Stackhouse C, Gracely E, Orlin M. Comparison of the two-step and midgait methods of plantar pressure measurement in children. *J Am Podiatr Med Assoc* 2008;98(4):268-77.
- [189] Gurney JK, Kersting UG, Rosenbaum D. Between-day reliability of repeated plantar pressure distribution measurements in a normal population. *Gait Posture.* 2008;27(4):706-9.
- [190] Hutchinson RJ, Betts RP, Donnan LT, Saleh M. Assessment of Ilizarov correction of clubfoot deformity using pedobarography. A preliminary report. *J Bone Joint Surg [Br].* 2001;83B(7):1041-5.
- [191] Rsscan International. Footscan® 7.x Gait interface, Manual de Instalación. Belgium: Rsscan International 2005.
- [192] Martín P. Alteraciones de la postura, el equilibrio y la marcha en los niños que andan de puntillas. *Primeras Jornadas Internacionales de Biomecánica, Pie y Postura Clínica Podológica Universidad de Extremadura.* Plasencia 2008.
- [193] Martín P, Ballester R, Atín MA, Varela E. Could Physiotherapy prevent orthopaedical and other disorders in idiopathic toe-walkers? A case report. *5th World Congress of the International Society of Physical and Rehabilitation Medicine.* Estambul 2009.
- [194] Le Métayer M. Reeducción cerebromotriz del niño pequeño. Educación terapéutica. Navarra: Masson 1994.
- [195] Puccini P, Perfetti C. L'intervento riabilitativo nel bambino affetto da paralisi cerebrale infantile. Roma: Marrapese 1987.
- [196] Aylward G. Infant and Early Childhood Neuropsychology. New York: Plenum Press 1997.
- [197] Portellano JA. Trastornos neurológicos y alteraciones cognitivas durante el periodo perinatal: la disfunción cerebral infantil (II). *Polibea.* 2004;68:12-7.
- [198] Rapin I. Disfunción cerebral en la infancia. Madrid: Martínez Roca 1987.
- [199] Kadesco B, Gilberg C. Attention deficits and clumsiness in 7-years-old Swedish children. *Dev Med Chil Neurol.* 1998;40:796-804.
- [200] Sabbadini L. La disprassia in età evolutiva: criteri di valutazione ed intervento. Milano: Springer-Verlag Italia 2005.
- [201] Baron IS. Clinical implications and practical applications of child neuropsychological evaluations. In: Yeates KO, Ris MD, Taylor HG, eds. *Pediatric Neuropsychology Research, Theory and Practice.* Nueva York: Guilford Press 2000:439-56.
- [202] Rutter M, Graham P, Yule WA. "A Neuropsychiatric Study in Childhood". Clinics in Developmental Medicine. London: Heinemann Medical Books 1970.
- [203] Narbona J, Chevie-Muller C. El lenguaje del niño. 2ª ed. Barcelona: Masson 2003.
- [204] Portellano JA. Neurobiología del Desarrollo y diagnóstico precoz de los signos de riesgo en la etapa preescolar. Cuaderno de Realidades Sociales. 1998;51-52:155-74.
- [205] Touwen BCL. Examen del niño con disfunción encefálica mínima. 2ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana 1986.
- [206] Fernández E, Vila A, Tejedor J. Estudio y adaptación experimental del test discriminativo neurológico rápido QNST. *Estudios de Psicología* 1981;3:16-28.
- [207] Rosselli M, Matute E, Ardila A, Botero VE, Tangarife GA, Echeverría SE, et al. Evaluación neuropsicológica infantil (ENI): una batería para la evaluación de niños entre 5 y 16 años de edad. Estudio normativo colombiano. *Rev Neurol.* 2004;38:720-31.
- [208] Manga D, Ramos F. Luria Inicial. Exploración Neuropsicológica de la Edad Preescolar. Madrid: TEA 2004.

- [209] Wechsler D. Adaptación española: Departamento I+D de TEA Ediciones. WPPSI-III, Escala de Inteligencia de Wechsler para Preescolar y Primaria – III Madrid: TEA Ediciones 2005.
- [210] McCarthy D. Escalas McCarthy de Aptitudes y Psicomotricidad para niños. Madrid: TEA Ediciones 2005.
- [211] Guerrero MK. Adaptación del Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Infantil -CUMANIN- en una población urbana de Lima. *Dispersión*. 2006;III(8):1-14.
- [212] Portellano JA, García J, Martínez-Arias R, Mateos R, Iniesta I, Pérez M. Evaluación neuropsicológica de niños con síndrome de Down. *Polibea*. 2000;55:14-9.
- [213] Eiff MP, Steiner E, Zegar D. What is the appropriate evaluation and treatment of children who are "toe walkers"? *J Fam Pract*. 2006;55(5):449-50.
- [214] Westberry DE, Davids JR, Davis RB, de Moraes MC. Idiopathic toe walking: a kinematic and kinetic profile. *J Pediatr Orthop*. 2008;28(3):352-8.
- [215] Kogan M, Smith J. Simplified approach to idiopathic toe-walking. *J Pediatr Orthop*. 2001;21(6):790-1.
- [216] Fox A, Deakin S, Pettigrew G, Paton R. Serial casting in the treatment of idiopathic toe-walkers and review of the literature. *Acta Orthop Belg*. 2006;72(6):722-30.
- [217] Stricker SJ. Evaluation and Treatment of the Child with Tiptoe Gait. *Int Pediatr*. 2006;21(2):91-8.
- [218] Stott NS, Walt SE, Lobb GA, Reynolds N, Nicol RO. Treatment for idiopathic toe-walking: results at skeletal maturity. *J Pediatr Orthop*. 2004;24(1):63-9.
- [219] Accardo P, Morrow J, Heaney MS, Whitman B, Tomazic T. Toe walking and language development. *Clin Pediatr (Phila)*. 1992;31(3):158-60.
- [220] Engelbert RH, Gorter JW, Uiterwaal CS, van de Putte E, Helders PJ. Idiopathic toe-walking in children, adolescents and young adults: a matter of local or generalised stiffness? *BMC Musculoskelet Disord*. 2011;12:61.
- [221] Hicks R, Durinick N, Gage JR. Differentiation of idiopathic toe-walking and cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 1988;8:160-3.
- [222] Sobel E, Caselli MA, Velez Z. Effect of persistent toe walking on ankle equinus. Analysis of 60 idiopathic toe walkers. *J Am Podiatr Med Assoc* 1997;87(1):17-22.
- [223] Hirsch G, Wagner B. The natural history of idiopathic toe-walking: a long-term follow-up of fourteen conservatively treated children. *Acta Paediatr*. 2004;93:196-9.
- [224] Eastwood D, Menelaus M, Dickens D, et al. Idiopathic toe-walking: does treatment alter the natural history? *J Pediatr Orthop B*. 2000;9(1):47-9.
- [225] Brouwer B, Davidson LK, Olney SJ. Serial casting in idiopathic toe-walkers and children with spastic cerebral palsy *J Pediatr Orthop*. 2000;20:221-5.
- [226] Stricker SJ, Angulo JC. Idiopathic toe walking: a comparison of treatment methods. *J Pediatr Orthop*. 1998;18:289-93.
- [227] Pascual R, López P, Alonso C. Marcha infantil. *Rev Esp Podol*. 2001;XII(2):89-96.
- [228] Eastwood DM, Dennett X, Shield LK, Dickens DR. Muscle abnormalities in idiopathic toe-walkers. *J Pediatr Orthop B*. 1997;6:215-8.
- [229] Caselli MA, Rzonca EC, Lue BY. Habitual toe-walking: evaluation and approach to treatment. *Clin Podiatr Med Surg*. 1988;5(3):547-59.
- [230] Tidwell M. The Child with Tip-Toe Gait. *Int Pediatr*. 1999;14(4):235-8.
- [231] Fragnière B, Garoflid N, Dutoit M. Mon enfant marche sur la pointe des pieds. *Rev Med Suisse Romande*. 2000;120(10):811-4.
- [232] Kelly IP, Jenkinson A, Stephens M, O'Brien T. The kinematic patterns of toe-walkers. *J Pediatr Orthop*. 1997;17:478-80.
- [233] Shulman LH, Sala DS, Chu MLY, McCaul PR, Sandler BJ. Developmental implications of idiopathic toe walking. *J Pediatr*. 1997;4:541-6.
- [234] Sala DA, Shulman LH, Kennedy RF, Grant AD, Chu ML. Idiopathic toe-walking: a review. *Dev Med Child Neurol*. 1999;41:846-8.
- [235] Hall JE, Salter RB, Bhalla SK. Congenital short tendo calcaneus. *J Bone Joint Surg*. 1967;49B(4):695-7.
- [236] Taussig G, Delouvé E. La marche en équin idiopathique de l'enfant. Diagnostic et évolution spontanée. *Ann Readapt Med Phys*. 2001;44:333-9.
- [237] Romero R. Niños prematuros: un reto para la fisioterapia. *Cuest Fisioter*. 2004;27:29-38.
- [238] Ancel PY. Handicap neuro-sensoriel grave de l'enfant grand prématuré. *J Gynaecol Obstet Biol Reprod*. 2004;33:461-74.
- [239] Colbert EG, Koegler RR. Toe walking in childhood schizophrenia. *J Pediatr*. 1958;53(2):219-20.
- [240] Montgomery P, Gauger J. Sensory dysfunction in children who toe walk. *Phys Ther*. 1978;58:1195-204.
- [241] Marcus A, Sinnot B, Bradley S, Grey I. Treatment of idiopathic toe-walking in children with autism using GaitSpot Auditory Speakers and simplified habit reversal. *Res Autism Spectr Disord*. 2010;4:260-7.

- [242] Barrett RP, Linn DM. Treatment of stereotyped toe-walking with overcorrection and physical therapy. *Appl Res Ment Retard*. 1981;2:13-21.
- [243] Weber D. "Toe-walking" in children with early childhood autism. *Acta Paedopsychiatr*. 1978;43:73-83.
- [244] Domb BG, Khanna AJ, Mitchell SE, Frassica FJ. Toe-walking attributable to venous malformation of the calf muscle. *Clin Orthop* 2004;420:225-9.
- [245] Newman CJ, Ziegler AL, Jeannet PY, Roulet-Pérez E, Deonna TW. Transient dystonic toe-walking: differentiation from cerebral palsy and a rare explanation for some unexplained cases of idiopathic toe-walking. *Dev Med Chil Neurol*. 2006;48:96-102.
- [246] Williams CM, Tinley P, Curtin M. The Toe Walking Tool: a novel method for assessing idiopathic toe walking children. *Gait Posture*. 2010;32(4):508-11.
- [247] Levine M. Congenital short tendo calcaneus. Report of a family. *Am J Dis Child*. 1973;125:858-9.
- [248] Katz M, Mubarak S. Hereditary tendo achillis contractures. *J Pediatr Orthop*. 1984;4:711-4.
- [249] Gurney B. Leg length discrepancy. *Gait Posture*. 2002;15:195-206.
- [250] Umehara F, Matsuura E, Kitajima S, Osame M. Unilateral toe-walking secondary to intramuscular hemangioma in the gastrocnemius. *Neurology*. 2005;65(7):E15.
- [251] Goodman MJ, Menown JL, West Jr JMW, Barr KM, Vander Linden DW, McMulkin ML. Secondary gait compensations in individuals without neuromuscular involvement following a unilateral imposed equinus constraint. *Gait Posture*. 2004;20(238-44).
- [252] McMulkin ML, Baird GO, Caskey PM, Ferguson RL. Comprehensive outcomes of surgically treated idiopathic toe walkers. *J Pediatr Orthop*. 2006;26:606-11.
- [253] Bardina E, Gómez JC, Díaz JL, Sevillano MC, Ordóñez S. El esquema corporal: su importancia en el desarrollo psicomotor. *An Esc Univ Cienc Salud*. 2000;3:57-68.
- [254] Davids JR, Foti T, Dabelstein J, Bagley A. Voluntary (normal) versus obligatory (cerebral palsy) toe-walking in children: a kinematic, kinetic, and electromyographic analysis. *J Pediatr Orthop*. 1999;19:461-9.
- [255] Hemo Y, Macdessi SJ, Pierce RA, Aiona MD, Sussman MD. Outcome of patients after achilles tendon lengthening for treatment of idiopathic toe walking. *J Pediatr Orthop*. 2006;26(3):336-40.
- [256] Engström P, Gutierrez EM, Bartonek A, K T, Orefelt C, Haglund-Akerlind Y. Does botulinum toxin A improve the walking pattern in children with idiopathic toe-walking? *J Child Orthop*. 2010;4:301-8.
- [257] Brunt D, Woo R, Kim H, Ko M, et al. Effect of botulinum toxin type A on gait of children who are idiopathic toe-walkers and children with spastic cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. 2000;20:221-5.
- [258] Griffin PP, Wheelhouse WW, Shiavi R, Bass W. Habitual toe-walkers: a clinical and electromyographic gait analysis. *J Bone Joint Surg*. 1977;59A:97-101.
- [259] Martín P. Efectividad de la Fisioterapia mediante Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo en los niños con marcha de puntillas idiopática. *Reduca (Enfermería, Fisioterapia y Podología)* 2010;2(1):428-46.
- [260] Martín P, Ballesteros R, Atín MA. ¿Qué hacer cuando un niño anda de puntillas? *Podoscopio*. 2009;42:595-603.
- [261] Józwiak M, Ławniczak D, Manikowska F, Idzior M. Idiopathic toe walking (ITW)--normal or pathological? *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol*. 2010;75(1):24-9.
- [262] Perry J, Burnfield JM, Gronley JK, Mulroy SJ. Toe walking: muscular demands at the ankle and knee. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84:7-16.
- [263] Brunner R, Dreher T, Romkes J, Frigo C. Effects of plantarflexion on pelvis and lower limb kinematics. *Gait Posture*. 2008;28:150-6.
- [264] Armand S, Watelain E, Mercier M, Lensel G, Lepoutre FX. Identification and classification of toe-walkers based on ankle kinematics, using a data-mining method. *Gait Posture*. 2006;23:240-8.
- [265] Armand S, Watelain E, Roux E, Mercier M, Lepoutre FX. Linking clinical measurements and kinematic gait patterns of toe-walking using fuzzy decision trees. *Gait Posture*. 2007;25:475-84.
- [266] Papariello S, Skinner S. Dynamic electromyography analysis of habitual toe-walkers. *J Pediatr Orthop*. 1985;5:171-5.
- [267] Kalen V, Adler N, Bleck EE. Electromyography of idiopathic toe walking. *J Pediatr Orthop*. 1986;6:31-3.
- [268] Sánchez-Ventura JG, Grupo PrevInfad/PAPPS Infancia y Adolescencia. Atención orientada al desarrollo, supervisión del desarrollo psicomotor y cribado de los trastornos del espectro autista. *Rev Pediatr Aten Primaria*. 2006;8:101-26.
- [269] Puértolas B, Leong V, Pereira C, Gonçalves A, Barbosa E. Estudio comparativo del manejo de las escalas de valoración del desarrollo psicomotor del niño, utilizadas por fisioterapeutas de la región de Lisboa y Vale do Tejo (Portugal) y fisioterapeutas extremeños. *Fisioterapia*. 2005;27(1):16-23.
- [270] Collignon H, Thémar-Noël C. Un enfant qui marche sur la pointe des pieds. *Méd Enfance*. 1997;3:117-9.
- [271] Accardo P, Whitman B. Toe walking. A marker for language disorders in the developmentally disabled. *Clin Pediatr (Phila)*. 1989;28(8):347-50.

- [272] Futagi Y, Toribe Y, Ueda H, Suzuki Y. Neurodevelopmental outcome of children with idiopathic toe-walking. *No To Hattatsu*. 2001;33(6):511-6.
- [273] Tachdjian MO. *Ortopedia Pediátrica*. Madrid: Interamericana Mc-Graw-Hill 1994.
- [274] Babb A, Carlson WO. Idiopathic toe-walking. *SD Med*. 2008;61(2):53, 5-7.
- [275] Solan MC, Kohls-Gatzoulis J, Stephens MM. Idiopathic toe walking and contractures of the triceps surae. *Foot Ankle Clin N Am*. 2010;15:297-307.
- [276] Jahn J, Vasavada AN, McMulkin ML. Calf muscle-tendon lengths before and after Tendo-Achilles lengthenings and gastrocnemius lengthenings for equinus in cerebral palsy and idiopathic toe walking. *Gait Posture*. 2009;29:612-7.
- [277] Pernet J, Billiaux A, Auvin S, Rakatovao D, Morin L, Presedo A, et al. Early onset toe-walking in toddlers: a cause for concern? *J Pediatr*. 2010;157(3):496-8.
- [278] Atín MA, Martín P, Ballester R. Is the conservative treatment the first option for idiopathic toe walkers? A case report *16th European Congress of Physical and Rehabilitation Medicine* Brujas: Abstract published in *J Rehabil Med* 2008; Suppl 47: 1-303. 2008
- [279] Bonavolta C. La riabilitazione del cammino in età evolutiva: l'integrazione intersistemica e la costruzione delle conoscenze [Tesi di Laurea]. Trieste: Università degli Studi di Trieste; 2003.
- [280] Bueno MR, Trujillo P, Ojeda A, Lafuente G, Munuera PV. Evolución del ángulo de la marcha de la infancia. *Rev Esp Podol*. 2007;XVIII(5):214-7.
- [281] Patten M. Gait in children. In: Smith G, ed. *Gait in Rehabilitation (Clinics in Physical Therapy)*. New York: Churchill Livingstone 1990:157-84.
- [282] VVAA. Sección de Perinatología de la Asociación Española de Pediatría. Atención neonatal. Recomendaciones y bases para una adecuada asistencia. *An Esp Pediatr*. 1988;28:335-44.
- [283] Grupo de Atención Temprana. Libro Blanco de la Atención Temprana. Madrid: Real Patronato de Prevención y de Atención a Personas con Minusvalía 2000.
- [284] Behrman RE, Kliegman RM, Jenson HB. *NELSON. Tratado de pediatría*. 17ª ed. Madrid: Elsevier 2006.
- [285] Yaguramaki N, Kimura T. Acquisition of stability and mobility in infant gait. *Gait Posture*. 2002;16:69-77.
- [286] Sommers DL, Hanson JA, Kedzierski CM, Nestor KL, Quinlivan KY. The influence of experience on the reliability of goniometric and visual measurement of forefoot position. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2001;25(3):192-202.
- [287] Van Gheluwe B, Kirby KA, Roosen P, Phillips R. Reliability and accuracy of biomechanical measurement of the lower extremities. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2002;92:317-26.
- [288] Rothstein JM, Miller PJ, Roettger RE. Goniometric reliability in a clinical setting. *Phys Ther* 1983;63:1611-15.
- [289] Boone DC, Azen SP, M LC, Spence C, Baron C, Lee L. Reliability of goniometrical measurements. *Phys Ther*. 1978;58:1355-60.
- [290] Bovens AMP, et al. Variability and reliability of joint measurements. *Am J Sports Med*. 1990;18:58-63.
- [291] Elveru RA, Rothstein JM, Lamb RL. Goniometric reliability in a clinical settings. Subtalar and ankle joint measurements. *Phys Ther*. 1988;68:672-7.
- [292] Youdas JW, Bogard CL, Suman VJ. Reliability of goniometric measurements and visual estimates of ankle joint range of motion obtained in a clinical setting. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993;74:1113-8.
- [293] Mollinger LA, Steffen TM. Knee flexion contractures in institutionalized elderly: Prevalence, severity, stability, and related variables. *Phys Ther*. 1993;73:437-46.
- [294] Portney LG, Watkins MP. *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice*. 2ª ed. Upper Saddle River, N J: Prentice Hall Health 2000.
- [295] Reid MC, Lachs MS, Feinstein AR. Use of methodological standards in diagnostic test research. *JAMA*. 1995;274:645-51.
- [296] Pierrynowsky MR, Smith SB, Mlynarczk JH. Proficiency of foot care specialists to place the rearfoot at subtalar neutral. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1996;86(5):217-23.
- [297] Smith-Orocchio K, Harris BA. Interrater reliability of subtalar neutral, calcaneal inversion and eversion. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1990;12:10-5.
- [298] Torburn L, Perry J, Gronley JK. Assessment of rearfoot motion: passive positioning, one-legged standing, gait. *Foot Ankle Int*. 1998;19(10):688-93.
- [299] Rsscan International. *Productos Footscan 2008* [catálogo en Internet]. [cited 18-3-2008]; Available from: <http://www.rsscan.com/>
- [300] Mann RA, Hagy JL, White V, Liddell D. The initiation of gait. *J Bone Joint Surg*. 1979;61-A(2):232-9.
- [301] Wilssens JP. Aplicaciones del FootScan en Podología. *Seminario de la Academia de Alumnos Internos*. Universidad Complutense de Madrid: Clínica Universitaria de Podología 2009.

- [302] Hughes J, Pratt L, Linge K, Clark P, Klenerman L. Reliability of pressure measurements: the EMED F system. *Clin Biomech.* 1991;61:14-8.
- [303] Quesada PM, Rash GS, Jarboe N. Assessment of PEDAR and F-Scan revisited. *Clin Biomech.* 1997;12(S):15.
- [304] Wegener C, Hunt AE, Vanwanseele B, Burns J, Smith RM. Effect of children's shoes on gait: a systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res.* 2011;4:3.
- [305] Pendharkar G, Lai DT, Begg RK. Detecting idiopathic toe-walking gait pattern from normal gait pattern using heel accelerometry data and Support Vector Machines. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2008;2008:4920-3.
- [306] Instituto de Investigación sobre Crecimiento y Desarrollo. Curvas y Tablas de crecimiento (estudios longitudinal y transversal) Bilbao: Fundación Faustino Orbegoza Eizaguirre 2004.
- [307] Allen MC. Developmental implications of intrauterine growth retardation in young children. *Inf Young Children* 1992;5:1-6.
- [308] Sección de Perinatología de la Asociación Española de Pediatría. Atención neonatal. Recomendaciones y bases para una adecuada asistencia. *An Esp Pediatr.* 1988;28:335-44.
- [309] Siegel A, Burton R. Effects of baby walkers on motor and mental development in human infants. *Dev Behav Pediatr.* 1999;20(5):355-61.
- [310] Garrett M, McElroy AM, Staines A. Locomotor milestones and babywalkers: cross sectional study. *BMJ.* 2002;324:1494.
- [311] Kendrick D, Marsh P. Babywalkers: prevalence of use and relationship with other safety practices. *Inj Prev.* 1998;4(4):295-8.
- [312] Thein M, Lee J, Tay V, Ling S. Infant walker use, injuries and motor development. *Inj Prev.* 1997;3:63-6.
- [313] Alcantara J, Davis J. The chiropractic care of children with "growing pains": a case series and systematic review of the literature. *Complement Ther Clin Pract.* 2011;17(1):28-32.
- [314] Evans AM, Scutter SD. Prevalence of "growing pains" in young children. *J Pediatr.* 2004;145:255-8.
- [315] Napolitano C, Walsh S, Mahoney L, McCrea JD. Risk factors that may adversely modify the natural history of the pediatric pronated foot. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery.* 2000;17(3):397-717.
- [316] Viladot A, et al. Diez lecciones sobre patología del pie. Barcelona: Ediciones Toray 1979.
- [317] Ratti SG, Rabello P, Tavares MC, Tomaz C, Álvarez E. Evaluación de un inventario modificado para determinar habilidad manual en monos: comparación y análisis evolutivo con la destreza manual humana. *Revista Médica Universitaria Facultad de Ciencias Médicas - UNCuyo.* 2007;3(1):1-13.
- [318] Martínez-Nova A, Sánchez-Rodríguez R, Cuevas-García JC, Sánchez-Barrado E. Estudio baropodométrico de los valores de presión plantar en pies no patológicos. *Rehabil (Madr).* 2007;41(4):155-60.
- [319] Femery V, Moretto P, Renaut H, Thévenon A. Spasticité et distribution des pressions plantaires chez des enfants atteints d'hémiplégie cérébrale infantile. *Ann Readapt Med Phys.* 2001;44:26-34.
- [320] Orlin MN, McPoil TG. Plantar pressure assessment. *Phys Ther* 2000;80:399-409.
- [321] Kubo M, Ulrich BD. Early stage of walking: development of control in mediolateral and anteroposterior directions. *J Mot Behav.* 2006;38(3):229-37.
- [322] Armand S, Mercier M, Watelain E, Patte K, Pelissier J, Rivier F. A comparison of gait in spinal muscular atrophy, type II and Duchenne muscular dystrophy. *Gait Posture.* 2005;21:369-78.
- [323] Ho C, Lin F, Su F, Lin S. Foot progression angle and ankle joint complex in preschool children *Clin Biomech.* 2000;15:271-7.
- [324] Kimmeskamp S, Hennig EM. Heel to toe motion characteristics in Parkinson patients during free walking. *Clin Biomech.* 2001;16:806-12.
- [325] Eils E, Behrens S, Mers O, Thorwesten L, Völker K, Rosenbaum D. Reduced plantar sensation causes a caution walking pattern. *Gait Posture.* 2004;20:54-60.
- [326] Lacquaniti F, Grasso R, Zago M. Motor patterns in walking. *News Physiol Sci.* 1999;14:168-74.
- [327] Hallemans A, Aerts P, Otten B, De Deyn PP, De Clercq D. Mechanical energy in toddler gait: A trade-off between economy and stability? *J Exp Biol.* 2004;207:2417-31.
- [328] Perfetti C, Ghedina R, Jiménez D. El ejercicio terapéutico cognoscitivo para la reeducación motora del hemipléjico adulto. Barcelona: Edika Med 1999.
- [329] Podgorelec V, Kokol P, Stiglic B, Rozman I. Decision trees: an overview and their use in medicine. *J Med Syst.* 2002;26:445-63.
- [330] Pathokinesiology Service and Physical Therapy Dept. Observational Gait Analysis. 4ª ed. Downey: LAREI, Rancho Los Amigos National Rehabilitation Center 2001.
- [331] Murray MP. Gait as a total pattern of movement. *Am J Phys Med Rehabil.* 1967;46:290-333.

ANEXOS

11. ANEXOS

ANEXO 1: FACTORES DE RIESGO BIOLÓGICO Y SOCIAL

Factores de riesgo biológico

RECIÉN NACIDO DE RIESGO NEUROLÓGICO	RECIÉN NACIDO DE RIESGO SENSORIAL-VISUAL
<ul style="list-style-type: none"> — R.N. con Peso < P10 para su edad gestacional o con Peso < a 2000 grs. — Prematuridad. — APGAR < 3 al minuto o < 7 a los 5 minutos. — RN con ventilación mecánica durante más de 24 horas. — Hiperbilirrubinemia. — Convulsiones neonatales. — Sepsis, Meningitis o Encefalitis neonatal. — Disfunción Neurológica persistente (más de siete días). — Daño cerebral evidenciado por ECO / TAC. — Malformaciones del Sistema Nervioso Central (SNC). — Neuro-Metabopatías. — Cromosomopatías y otros Síndromes Dismórficos. — Hijo de madre con Patología Mental y/o Infecciones y/o Drogas que puedan afectar al feto. — RN con hermano con patología neurológica no aclarada o con riesgo de recurrencia. — Gemelo, si el hermano presenta riesgo neurológico. — Siempre que el Pediatra lo considere oportuno. 	RECIÉN NACIDO DE RIESGO SENSORIAL-AUDITIVO
	<ul style="list-style-type: none"> — Ventilación mecánica prolongada. — Gran Prematuridad. — RN con Peso < a 1500 grs. — Hidrocefalia. — Infecciones congénitas del SNC. — Patología craneal ECO/TAC. — Síndrome malformativo con compromiso visual. — Infecciones postnatales del SNC. — Asfixia severa. <ul style="list-style-type: none"> — Hiperbilirrubinemia. — Gran Prematuridad. — RN con peso < a 1500 grs. — Infecciones congénitas del SNC. — Ingesta de aminoglucósidos durante un periodo prolongado o con niveles plasmáticos elevados durante el embarazo. — Síndrome malformativo con compromiso de la audición. — Antecedentes familiares de hipoacusia — Infecciones postnatales del SNC. — Asfixia severa.

Factores de riesgo social

<ul style="list-style-type: none"> — Acusada deprivación económica. — Embarazo accidental traumatizante. — Convivencia conflictiva en el núcleo familiar. — Separación traumatizante en el núcleo familiar. — Padres con bajo CI / Entorno no estimulante. — Enfermedades graves / Exitus. — Alcoholismo/ Drogadicción. 	<ul style="list-style-type: none"> — Prostitución. — Delincuencia / Encarcelamiento. — Madres adolescentes. — Sospecha de malos tratos. — Niños acogidos en hogares infantiles. — Familias que no cumplimentan los controles de salud repetidamente.
--	--

Fuente: Vidal [105].

ANEXO 2: AUTORIZACIÓN DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

ESCUELA UNIVERSITARIA DE ENFERMERÍA,
FISIOTERAPIA Y PODOLOGÍA

COMISIÓN DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN

INFORME DE LA COMISIÓN DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN

DÑA. MARÍA JOSÉ DÍAZ ARRIBAS, SECRETARIA DE LA COMISIÓN DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN DE LA ESCUELA UNIVERSITARIA DE ENFERMERÍA, FISIOTERAPIA Y PODOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

HACE CONSTAR:

Que el proyecto de Investigación titulado "**Análisis biomecánico y neuromadurativo de los niños preescolares con marcha de puntillas idiomática y/o pie plano valgo flexible**" con código interno número F(EFP)- 001/2010, cuyo Director es la **Dra. M^a Ángeles Atín Arratibel**, del Departamento de Medicina Física Rehabilitación e Hidrología Médica, Fisioterapia, Profesora de la Escuela Universitaria de Enfermería, Fisioterapia y Podología de la Universidad Complutense de Madrid ha sido estudiado por esta Comisión, no habiéndose realizado objeción para el desarrollo del mismo.

Es por ello que la Comisión de ética **informa favorablemente** sobre la realización de dicho proyecto.

Madrid, 2 de Febrero de dos mil diez

Fdo. D^a María José Díaz Arribas

ANEXO 3: DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN EL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN: Análisis biomecánico y neuromadurativo de los niños preescolares con marcha de puntillas idiopática y/o pie plano valgo flexible.

Investigador principal: Dra. Atín Arratibel

Sede donde se realizará el estudio: Unidad de Fisioterapia, Clínica Universitaria de Podología, Dpto. Medicina Física y Rehabilitación, E.U. Enfermería, Fisioterapia y Podología, Universidad Complutense de Madrid.

Nombre del padre, de la madre o del tutor o la tutora del paciente:
DNI: _____

Se le está invitando a que su hijo/a participe en este estudio de investigación. Antes de decidir si participa o no, debe conocer y comprender cada uno de los siguientes apartados. Este proceso se conoce como consentimiento informado. Siéntase con absoluta libertad para preguntar sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas al respecto.

Una vez que haya comprendido el estudio y si usted desea que su hijo/a participe, entonces se le pedirá que firme este impreso de consentimiento, del cual se le entregará una copia firmada y fechada.

JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Los niños denominados “andadores de puntillas” son aquellos que habitualmente caminan sin apoyar el talón, pero son capaces de hacerlo voluntariamente siempre que no haya una retracción importante de la musculatura posterior de la pierna. El término pie plano engloba todas las malposiciones del pie que cursan con una disminución en la altura del arco longitudinal interno asociada con un valgo del retropié. El pie plano flexible se caracteriza por no estar estructurado y ser reductible a través de maniobras pasivas o en descarga.

En cuanto a las repercusiones de estas alteraciones, la adaptación del niño que anda de puntillas a un patrón de movimiento anómalo produce alteraciones ortopédicas en pies y miembros inferiores y son frecuentes las caídas por la inestabilidad y el pobre equilibrio, las limitaciones en la movilidad, los problemas con el calzado, el dolor y los calambres musculares nocturnos. De forma similar, la sintomatología asociada al pie plano infantil se inicia hacia el tercer año de vida en un porcentaje que oscila entre el 10 y el 30% de los niños, con fatiga, calambres nocturnos, alteraciones del equilibrio y caídas al caminar o al correr, dolor en pie, pierna y rodilla, alteraciones posturales, y anomalías óseas y trastornos angulares o rotacionales de los miembros inferiores e, incluso, de la columna vertebral.

Una consecuencia común de las manifestaciones anteriores es una disminución de la resistencia física y, cuando son adultos, una mayor propensión a las lesiones. Además, el dolor, la falta de equilibrio y el déficit de la movilidad pueden afectar al desarrollo global del niño, lo que podría condicionar el retraso en otros ámbitos de su vida (afectivos, sociales...) en una etapa de importante evolución psicomotora.

Los estudios realizados hasta la actualidad sobre la efectividad de los distintos tratamientos en estas alteraciones no resultan concluyentes. Esto puede ser debido a la variabilidad de los abordajes terapéuticos y de los grupos estudiados, así como a la falta de criterios de valoración claramente definidos. Además, los métodos de valoración empleados en los distintos trabajos no son uniformes ni valoran al niño en su globalidad, pues en su mayor parte no consideran la relación de estas alteraciones con problemas en otras regiones corporales ni en el desarrollo neuromadurativo.

No obstante, en la valoración de estas alteraciones habría de evaluarse la biomecánica del pie y el tobillo junto con la motricidad y el resto de funciones superiores desde un punto de vista no sólo cuantitativo sino también cualitativo, para lo que podrían ser útiles pruebas neuromadurativas como el Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Infantil (CUMANIN) y el análisis instrumental de la marcha, para desvelar alteraciones difícilmente observables. Los sistemas baropodométricos, que captan las presiones en las plantas de los pies del niño, permiten estudiar de manera detallada las características de la marcha y las compensaciones realizadas para lograr eficacia y equilibrio.

La combinación de un medio instrumental de análisis de la marcha con mediciones goniométricas en pelvis y miembros inferiores y un test neuromadurativo, validado en nuestro país, podría permitir el establecimiento de un protocolo de valoración y seguimiento útil para el abordaje preventivo y terapéutico de los niños en edad preescolar que presenten marcha de puntillas idiopática y/o pie plano valgo flexible.

OBJETIVO DEL ESTUDIO

A usted se le está invitando a que su hijo/a participe en un estudio de investigación que tiene como objetivo evaluar la relación existente entre la edad, la estática y la movilidad en los miembros inferiores, el patrón de marcha y el desarrollo neuromadurativo en los niños con marcha de puntillas idiopática y/o pie plano valgo flexible entre los 3 y los 6 años de edad, para desarrollar un algoritmo de valoración que resulte de utilidad en la detección precoz de estas alteraciones y en la toma de decisiones terapéuticas.

BENEFICIOS DEL ESTUDIO

Dado que las alteraciones ortopédicas, los dolores y las alteraciones posturales, de la marcha y del equilibrio que pueden presentar los niños con marcha de puntillas y/o pie plano valgo flexible tienen una peor resolución cuanto mayor es el niño, este estudio permitirá que en un futuro otros/as niños/as puedan beneficiarse del conocimiento obtenido para la valoración de estas alteraciones y permitir así la realización de trabajos de investigación sobre la efectividad de los distintos tratamientos desde una base de conocimiento global. El protocolo permitirá, mediante la detección precoz, la orientación terapéutica y la derivación a otros profesionales, minimizar el número de alteraciones primarias y secundarias severas y procedimientos terapéuticos agresivos en los niños con marcha de puntillas o pie plano valgo flexible. Además, facilitará la detección precoz de otras alteraciones ortopédicas y del desarrollo.

PROCEDIMIENTOS DEL ESTUDIO

En caso de aceptar que su hijo/a participe en el estudio se le plantearán a usted algunas preguntas sobre él, su desarrollo, sus hábitos y sus antecedentes médicos. Se le realizarán al niño mediciones de la altura y el peso, de la posición y la movilidad de las articulaciones del miembro inferior, un análisis instrumental de la marcha y un test de desarrollo neuromadurativo. Se le proporcionará la información sobre los hallazgos de forma verbal y por escrito.

RIESGOS ASOCIADOS CON EL ESTUDIO

La valoración que se realizará a su hijo no suele producir efectos adversos o secundarios. En ocasiones, el niño puede manifestar dolor muscular o cansancio al realizar un movimiento o mantener una postura, sin ser indicativo esto de lesión. En el caso de que su hijo/a manifieste alguna molestia de este tipo de forma inmediatamente posterior a la valoración, no dude en consultarnos.

ACLARACIONES

- Su decisión de que su hijo/a participe en el estudio es completamente voluntaria.
- No habrá ninguna consecuencia desfavorable para usted ni su hijo/a, en caso de no aceptar la invitación.
- Si decide que su hijo/a participe en el estudio puede retirarlo del mismo en el momento que lo desee, aun cuando el investigador responsable no se lo solicite, informando de las razones de su decisión, la cual será respetada en su integridad.
- No tendrá que hacer gasto alguno durante el estudio.
- No recibirá pago por su participación.
- En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo, al investigador responsable.
- La información obtenida en este estudio, utilizada para la identificación de cada paciente, será mantenida con estricta confidencialidad por el grupo de investigadores con arreglo a la Ley Orgánica de Protección de Datos.
- Si considera que no hay dudas ni preguntas acerca de su participación puede, si así lo desea, firmar la Carta de Consentimiento Informado anexa a este documento.

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____, padre, madre o tutor del niño o de la niña _____ he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Convengo en que mi hijo/a participe en este estudio de investigación. Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Firma del padre, madre o tutor

Fecha

Esta parte debe ser completada por el Investigador (o su representante):

He explicado al Sr(a). _____ la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica la participación de su hijo/a. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar investigación con seres humanos y me apego a ella.

Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas, se procedió a firmar el presente documento.

Firma del investigador

Fecha

ANEXO 4: MODELO GENÉRICO DE INFORME



Clínica Universitaria de Podología
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
Unidad de Fisioterapia

Madrid, a

El paciente
acudió a la Unidad de Fisioterapia de la Clínica Universitaria de Podología de la UCM para
realizar una valoración por:

- Marcha de puntillas bilateral
- Sospecha de pie plano valgo flexible
- Otros:

En la exploración clínica se observa:

- Deformidades digitales:
- Huellas normales / aplanadas / excavadas
- Apoyo de talón en bipedestación normal / disminuido
- Arco longitudinal interno aumentado / normal / disminuido
- Posición del calcáneo varo / neutro / valgo
- FD del tobillo normal / disminuida / aumentada
- Longitud de la musculatura posterior del miembro inferior normal / disminuida / aumentada
- Otros:

Durante el análisis instrumental de la marcha se objetiva:

- Un apoyo inicial con la punta del pie / todo el pie / el talón
- Hiperpronación del pie durante la fase media del apoyo
- Marcha en adducción / Marcha inestable
- Marcha dentro de los parámetros de la normalidad

En la prueba de evaluación neuromadurativa, el Cuestionario de Madurez Neuropsicológica Infantil (CUMANIN), se observan dificultades en las escalas de:

- Psicomotricidad / Estructuración Espacial / Visopercepción / Memoria icónica / Ritmo
- Lenguaje articulatorio / expresivo / comprensivo
- Fluidez verbal
- Atención
- No presenta dificultades severas en el resto de escalas (Todas las escalas presentan centiles superiores al 60 con respecto a su grupo de edad).
- No presenta dificultades severas en ninguna escala
- El desarrollo total del niño se encuentra en un centil

La lateralidad:

- Se encuentra indefinida / definida en ojos (D / I)
- Se encuentra indefinida / definida en manos (D / I)
- Se encuentra indefinida / definida en pies (D / I)

Se recomienda:

- Vigilar el desarrollo del niño (seguimiento del niño sano por su pediatra).
- Realizar valoraciones periódicas de las alteraciones del pie y la marcha.
- Solicitar consulta de Podología / Fisioterapia / Pediatría / Traumatología / Neurología / Psicología.

Firmado:

Patricia Martín Casas.

Ruth Ballesteró Pérez

Fisioterapeutas. Unidad de Fisioterapia. Clínica Universitaria de Podología.

Dpto. Medicina Física y Rehabilitación. Hidrología Médica

E. U. de Enfermería, Fisioterapia y Podología

Universidad Complutense de Madrid.

ANEXO 5: DATOS DE LA ENTREVISTA INICIAL

ANTECEDENTES MÉDICOS	
ALERGIAS	SÍ/NO
ENFERMEDADES O CIRUGÍAS	SÍ/NO
MEDICACIÓN	SÍ/NO
TRATAMIENTO POR LA MISMA ALTERACIÓN	SÍ/NO
ANAMNESIS	
ANDADOR DE PUNTILLAS	SÍ/NO
ANTECEDENTES FAMILIARES	SÍ/NO
RIESGO BIOLÓGICO	SÍ/NO
PARTO	NORMAL (38 a 42 semanas)
	PRETÉRMINO (<37 semanas)
	POSTÉRMINO (>42 semanas)
	PROVOCADO
	POR CESÁREA
	CON FÓRCEPS O VENTOSA
	NECESIDAD DE VM/VENTILACIÓN
PESO AL NACIMIENTO	MUY BAJO PESO (< 1500 g)
	BAJO PESO (< 2500 g)
	NORMAL (> 2500 g)
	ALTO (> 3500 g)
EDAD DE APARICIÓN DE LOS HITOS DEL DESARROLLO NEUROMADURATIVO	CONTROL VESICAL
	CONTROL VESICAL NOCTURNO
	CONTROL ANAL
	GATEO
	MARCHA
	PRIMERAS PALABRAS
EXPERIENCIA DE MARCHA	SÍ/NO
GATEO	NORMAL
	ARRASTRE o reptación con el abdomen pegado al suelo
	CULEO o despalzamiento en sedestación impulsándose con los brazos
TACATÁ	SÍ/NO
SEDESTACIÓN HABITUAL	INDIO, con los miembros inferiores cruzados por delante con las rodillas abiertas
	W, con los miembros inferiores por delante del cuerpo con los muslos juntos, de forma que los pies quedan por fuera de las rodillas
	LONG-SITTING (sedestación larga), con los miembros inferiores extendidos completamente por delante del tronco
DOLOR	SÍ/NO
TORPEZA	SÍ/NO
EJERCICIO FÍSICO	SÍ/NO

ANEXO 6: HOJA DE RECOGIDA DE LAS VARIABLES DESCRIPTIVAS Y CLÍNICAS

VARIABLES INDEPENDIENTES	
SEXO	MASCULINO/FEMENINO
EDAD (meses)	
ALTURA (m)	
PESO (Kg)	
IMC	

INSPECCIÓN VISUAL DE LA HUELLA EN EL PODOSCOPIO		
	IZQUIERDA	DERECHA
TIPO DE HUELLA	Normal, plana grado I, II, III ó IV o excavada de grado I ó II	Normal, plana grado I, II, III ó IV o excavada de grado I ó II
PICO DE PRONACIÓN	SÍ / NO	SÍ / NO
APOYO DE TALÓN	NORMAL / DISMINUIDO o ESTRECHO	NORMAL / DISMINUIDO o ESTRECHO

MEDIDAS CLÍNICAS GONIOMÉTRICAS		
FECHA		
	IZQUIERDA	DERECHA
ÁNGULO POPLÍTEO		
FD DE TOBILLO CON RODILLA EXTENDIDA		
FD DE TOBILLO CON RODILLA FLEXIONADA		
PRCC		
TDP		
ÁNGULO DE PRONACIÓN		
NAVICULAR DROP		

FD FD de tobillo
 PRCC Posición relajada de calcáneo en carga
 TDP Tercio distal de la pierna

ANEXO 7: PERFIL DEL CUMANIN

CUMANIN - PERFIL

Nombre y apellidos													
Edad en meses						Fecha							
Examinador						Centro							

Prueba	PD	Centil	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	99
1 PSICOMOTRICIDAD			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2 LENGUAJE ARTICULATORIO			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3 LENGUAJE EXPRESIVO			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
4 LENGUAJE COMPRENSIVO			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
5 ESTRUCTURACIÓN ESPACIAL			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
6 VISOPERCEPCIÓN			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
7 MEMORIA ICÓNICA			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
8 RITMO			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
9 FLUIDEZ VERBAL			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
10 ATENCIÓN			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
11 LECTURA			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
12 ESCRITURA			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	PD	Centil	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	99
Desarrollo verbal (DV) (suma de las pruebas 2, 3 y 4)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
+													
Desarrollo no verbal (DNV) (suma de las pruebas 1, 5, 6, 7 y 8)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
=													
Desarrollo total (suma de DV y DNV)			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
▼													
Uso de la tabla B.16 del Manual													
Cociente de desarrollo (CD)													

13. LATERALIDAD

MANO				OJO		PIE	
D+	D-	I+	I-	D	I	D	I

CUMANIN-12

Fuente: Portellano y cols. [111].